

鑄鋼製磁氣繼鐵の導磁性に就て

野 上 熊 二

目 次

緒 言	第Ⅵ章 機械的性質と導磁性
第Ⅰ章 實驗材料	第Ⅰ節 實驗の方法
第1節 豫備實驗材料	第2節 抗張力及び延伸率
第2節 本實驗材料	第Ⅴ章 熱處理效果と導磁性
第Ⅱ章 導磁性に關する實驗	第1節 組織的變化の影響
第1節 導磁率計及び測定の方法	第2節 燒鈍の效果
第Ⅲ章 化學的成分と導磁性	第3節 組織標準化の影響
第1節 元素量檢定	第4節 健淬の影響
第2節 豫備實驗の結果	第Ⅵ章 冶金學的考察
第3節 本實驗の結果	第1節 非金屬介在物の影響
第4節 通有元素共存の影響	總 括
第5節 磁化曲線の傾向	文 獻

緒 言

今までの文献によれば、普通炭素鋼の導磁性は炭素のために著しく低下する故に此元素を減ずるほど良い、即ち鐵分の多い鋼ほど導磁性は良くなると云ふ結論が一般であり、理論的にも如斯解釋され又事實の上にも判然と認識し得るのである。しかし此種鋼の導磁性をして常に優秀且つ齊一ならしむ方法につき、工業的實驗により物理冶金學的に研究した結果を詳述せる文献なく、斷片的實驗に關する論説なきにあらざるも、これを直ちに實際に應用せんには不便少しとせず。

炭素が鐵の導磁性に如何に有害とするも、工業的見地の下に鐵の機械的強度を適宜調整する上には殆んど絶對必要の元素にして、鐵の生命は實に炭素のために支配され他にこれに代はるべき元素がない有様である、そして既知の冶金術によりては全く不可避性と考へらるほど少量の炭素が鐵と固溶體となるために、鐵本來の導磁性は既に其大部分を失つてをるから、吾人の論ずる導磁性の優劣は純鐵のそれに比し極めて狭い範圍のものに過ぎぬ、これは此問題に直面して吾人の豫めよく理解してをく必要があると思ふ。

本文は著者が日常此種鋼を鑄造する關係上大正 10 年以來工業的實驗を基礎として鋼の化學的成分機械的性質並に熱處理效果と導磁性との相互關係につき絶へず研究したのものにして、先づ幾多異なる製品に鑄造せる 200 餘熔解の鋼より各試料を採りて豫備實驗を行ひ、以つて大體の標準化學成分を定め此標準成分に基き一般直流電動機用磁氣繼鐵として鑄造した 500 餘熔解の鋼より各試料を採りて、前

記の相互關係につき定量的に研究した結果を述べたものである。

第I章 實驗材料

此研究に用ひた實驗材料は株式會社日立製作所日立工場に於て容量 950 K. V. A. の鹽基性弧光式電氣製鋼爐にて普通冷材を熔解精製せる鋼を 106×254×305 mm の乾燥した砂型に鑄造した。

第1節 豫備實驗材料 此材料には磁氣繼鐵の化學的成分をして工業的に最も適量範圍を知る目的にて、普通炭素鋼の通有元素量を廣い範圍に涉りて採つた、即ち極軟鋼より中硬鋼について實驗した、隨つて各試料は炭素其他の元素量が自からかなり相異してをる。

第2節 本實驗材料 豫備實驗の結果得た概念に基く標準化學成分の鋼を一般直流電動機用磁氣繼鐵の鑄型と共に前記寸法に鑄造して用ひた、此標準化學成分を正確に保つことは脱硫並に脱酸劑として熔鋼中に加へた滿俺鐵及び珪素鐵中に含有せるこれら元素量に不同ありしたため、供試料中には豫期せる量に幾分過不足を免れざりしも、工業的實驗として不可避の程度に過ぎぬことは勿論である。

第II章 導磁率に關する實驗

一般に鐵材の導磁率測定には諸種の方法はあるが、導磁率は起磁力“H”とこれによつて生ずる磁束密度“B”とを測定することによつて求め得る。故に導磁率計には實測操作の比較的簡易にして、上の各値を正確に測定し得る次の如き方法を採用した。

第1節 導磁率計及び測定の方法 本實測には各試料より直徑=12.7, 長さ=254 mm の丸棒を削製し、第1圖寫眞の如く導磁率計繼鐵、制御函、彈動檢流計及び抵抗器等を具備する測定裝置 (Fahy's Simplex type) を使用した。第2圖は此導磁率計繼鐵の構造にして、起磁力は“U”字形繼鐵“Y”の周圍に捲かれある磁化線輪“m”によつて與へられ、此繼鐵の兩端間には供試片“t”を取付けらる。磁束密度に對する試験線輪“b”は供試片を挿入する金枠の周圍に均等に捲かれ、起磁力に對する試験線輪“h”はこれと並列に“U”字形繼鐵の兩端間に設けらる。

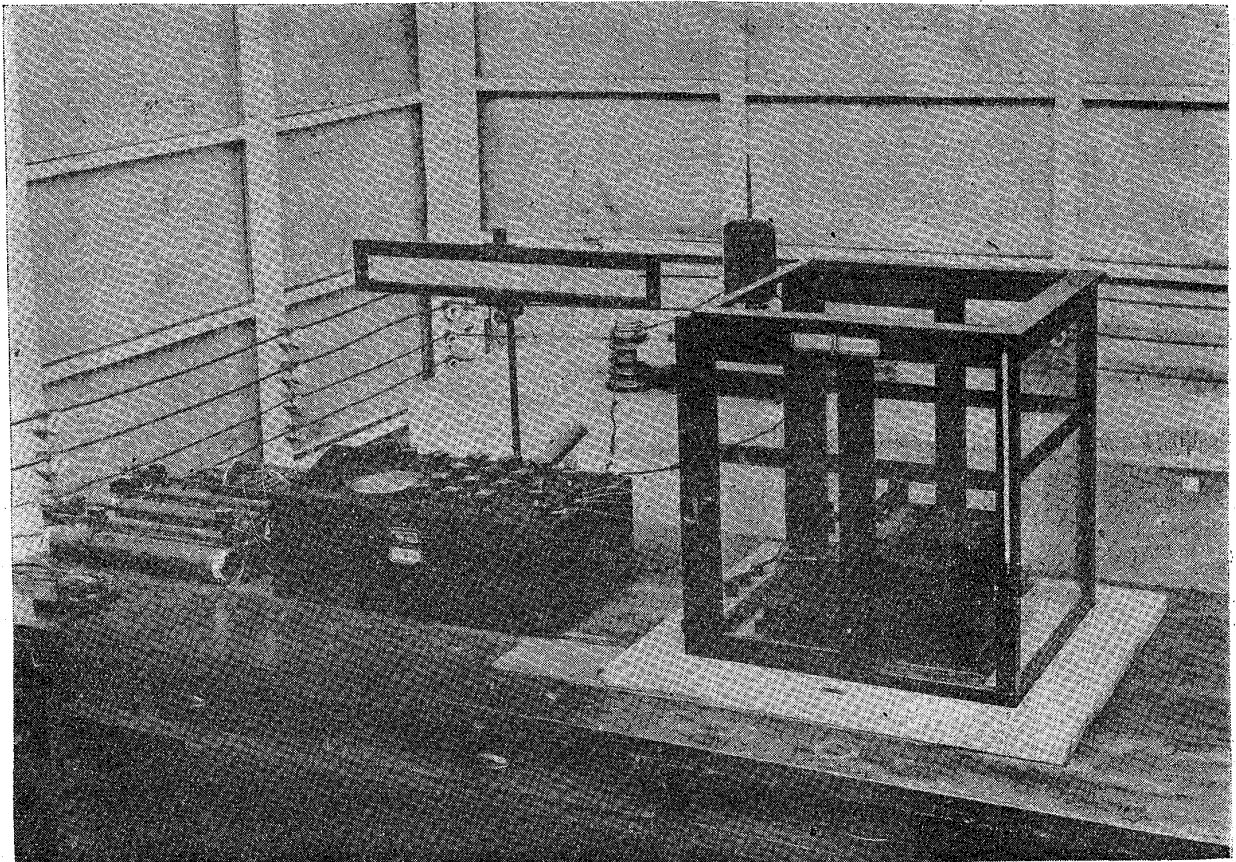
斯る構造によりて導磁率を測定するには第3圖に示せる接續圖の如き操作を要す、即ち最初に試験線輪“b”又は“h”を彈動檢流計に接續し、それを標準相互誘導に於ける磁束の變化によつて更正してをく。例へば“b”の試験線輪の更正は後ちの測定に便ならしむるために、 $B=10,000 \text{ cm}^2$ の場合に彈動檢流計の振れが 100 mm となるに適する電流を相互誘導の一次側に於て轉換し、制御函の抵抗を調整する、其時電流は次の式(1)から與へらる。

$$I = \frac{BNA}{M \times 10^9} \text{ アンペア} \dots \dots \dots (1) \quad \text{式中 } B = \text{磁束密度 } 10,000 \text{ 線 (cm}^2\text{)} \quad N = \text{試験線}$$

輪の回數 (100) $A = \text{供試片の斷面積 (cm}^2\text{)} \quad M = \text{標準相互誘導 (ヘンリー)}$

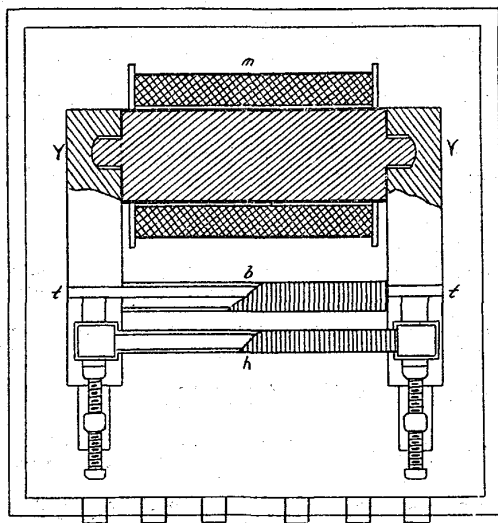
磁束密度の試験線輪と供試片との間には幾何かの空間を存するを以つて、測定された磁束密度より此空間に於ける磁束を引去りて供試片に對する眞の磁束密度を知るを要す、次の式(2)は此空間に

第 1 圖



General view of Faby's Simplex Permeameter

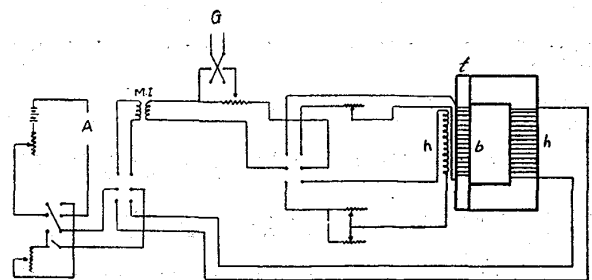
第 2 圖



Yoke construction of Faby's Simplex Permeameter

- m = Magnetizing coil. t = Test piece
- y = Yoke
- b = Testing coil for magnetic induction
- h = Testing coil for magnetizing force

第 3 圖



Connection diagram of the Faby's Simplex Permeameter

- m = Magnetizing coil
- t = Test piece
- MI = Standard mutual induction
- b = Test coil for magnetic induction
- h = Test coil for magnetizing force

於ける磁束の更正値に相當す。

$$\text{更正値} = \left(\frac{\alpha - A}{A} \right) H \dots \dots \dots (2) \quad \text{式中 } A = \text{供試片の斷面積 (cm}^2\text{)}$$

$\alpha = \text{試験線輪の斷面積 (cm}^2\text{)}$

$H = \text{起磁力 (ギルバート cm)}$

そして起磁力の試験線輪は磁束密度の試験線輪の場合と同様に $H=100$ ギルバート cm のとき彈動檢流計に於て 100mm の振れを生ずるように上式(1)の電流を定め制御函の抵抗を調整して更正する。

又起磁力の弱い場合の測定に於ても、彈動檢流計の感應度を鋭敏にするために、更に 1 組の制御抵抗があつて起磁力の試験線輪は 2 様に更正することが出来る。

これから更正された試験線輪を用ひ、磁化電流の異なる値に於て轉換し其時の磁束密度及び起磁力の値を彈動檢流計の振れによつて求め以つて磁化曲線を測定す。

上述の如き操作によりて測定した結果は、環狀試験片と此導磁率計試験片との間に其正確度には僅少の差あるべきも、實驗に於ては殆んど無視し得る程度に過ぎぬから、磁束密度の試験輪と供試片との間の空隙は、其磁束の更正を行ふとしても可及的に小ならしめなば、磁氣的實驗としては充分信頼するに足る正確度が得らるゝのである。

第III章 化學的成分と導磁性

Yensen⁽¹⁾ は一般鑄鋼製磁氣繼鐵の代表的化學成分として炭素=0.16, 滿俺=0.10, 珪素=0.15, 磷=0.04, 硫黃=0.03%, Parshall 及び Hobart⁽²⁾ は炭素=0.25, 滿俺=0.50, 珪素=0.20, 磷=0.08, 硫黃=0.05%を指定してをる。しかし現今一般に鑄造されてをる此種鑄鋼品は其用途の關係上鑄物の形態は極めて複雑し、鑄肉の厚薄不同、凹凸曲折の差大なるを常とす、故に上の前者の如き成分の鋼を完全に鑄造することは、種々なる理由の下に工業上容易でないのみならず、製品に對する機械的所要強度を具備せしむには餘りに軟弱にして實際上不適當である、隨つて一般には炭素並に滿俺を幾分多く含んでをる、又後者は餘りに強度大にして硬度高きために徒に導磁性を低下せしむ嫌がある。次の實驗は工業的に最も適當な化學成分を確める目的で行つた。

第1節 元素量檢定 各試料は何れも充分燒鈍を施して導磁率測定用供試片削製中に生じた削屑を試料として一般分析法によつて、通有元素たる炭素、滿俺、珪素、磷及び硫黃等の各量を檢定した。

第2節 豫備實驗の結果 第1表乃至第5表は各供給試片の斷面積 \square'' に對し、 $B=1000,000$ 線を誘導するに要せる H の増加の順に A.T./吋 (Ampere turns per Inch)=30~120 を、A.T./吋=5の増差として 18 行に分け、これを起磁力の回數欄に置き更にこれら各行の平均値を (A.T. m) 欄に置いた。そして各供試片の含有元素量の範圍を炭素、滿俺及び珪素は 0.10~0.40%、磷及硫黃は 0.01~0.06%、の間に定め、各元素量欄に配置せる數字は次の如き方法によりて計算した。

此計算の方法について炭素の場合を一例とすれば、第1表 A 段第1行では A.T. m=32.5 に相當する全供試片數の總てが 0.15%、の炭素を含めるために、此行に相當する全供試片數に對する炭素量

は此欄に相當するものが全部であるから100%とした。随つて同段第2行も全く同様であるが、第3行即ち A.T.m=43 では此行に相當する全供試片に對し、其半數が 0.15%を含み、残り半數が 0.20%、を含めるために兩欄共に 50% を置いた。更に F 段第3行即ち A.T.m=118 では此行に相當する全供試片數の 30, 20, 40, 10%がそれぞれ 0.20, 0.30, 0.35, 0.40% の炭素を含めることを示す。斯くして炭素量の平均値を求めるために、前記各行の割合に其欄に相當する炭素量を乗じた値を (C×100) の欄内に置き、各段毎に其平均を求めた、次に各行の炭素量と (A.T.m) との關係即ち炭素が鐵の導磁性に及ぼす感度を明かにするために、(A.T.m)/(C×100) を求め、更に各段毎に此平均値を示した。

Table 1.

Magnetizing force. (A.T./in.)		Carbon (%)								(C×100)		$\left(\frac{A.T.m}{C \times 100}\right)$	
A.T.	A.T.m	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40					
A	30~35	32.5	0	100	0	0	0	0	15.00		2.17		
	36~40	38	0	100	0	0	0	0	15.00	15.80	2.54	2.39	
	41~45	43	0	50	50	0	0	0	17.50		2.46		
B	46~50	48	0	60	40	0	0	0	17.00		2.82		
	51~55	53	20	40	0	20	0	20	20.00	18.58	2.65	2.86	
	56~60	58	0	25	75	0	0	0	18.75		3.10		
C	61~65	63	0	0	100	0	0	0	20.00		3.15		
	66~70	68	0	50	0	50	0	0	20.00	23.00	3.40	3.40	
	71~75	73	14	0	72	0	14	0	20.00		3.65		
D	76~80	78	0	20	20	50	10	0	22.50		3.47		
	81~85	83	0	50	0	50	0	0	20.00	22.50	4.15	3.71	
	86~90	88	0	0	0	100	0	0	25.00		3.52		
E	91~95	93	0	33	0	34	0	33	25.00		3.72		
	96~100	98	0	0	50	0	0	50	30.00	27.30	3.26	3.64	
	101~105	103	0	0	50	0	10	40	27.00		3.93		
F	106~110	108	0	0	0	60	40	0	32.00		3.37		
	111~115	113	0	0	50	0	0	50	30.00	30.67	3.76	3.69	
	116~120	118	0	0	30	0	20	40	30.00		3.94		

Table 2.

Magnetizing force. (A.T./in.)		Manganese (%)								(Mn×100)		$\left(\frac{A.T.m}{Mn \times 100}\right)$	
A.T.	A.T.m	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40					
A	30~35	32.5	0	100	0	0	0	0	15.00		2.17		
	36~40	38	100	0	0	0	0	0	10.00	14.17	3.80	2.81	
	41~45	43	0	50	50	0	0	0	17.50		2.46		
B	46~50	48	40	0	20	0	0	40	20.00		2.40		
	51~55	53	20	20	40	0	20	0	19.00	18.00	2.79	2.99	
	56~60	58	50	0	50	0	0	0	15.00		3.80		
C	61~65	63	0	50	0	50	0	0	20.00		3.15		
	66~70	68	0	0	50	0	0	50	30.00	25.00	2.26	2.78	
	71~75	73	14	0	0	72	0	14	25.00		2.92		
D	76~80	78	0	0	0	33	67	0	33.35		2.58		
	81~85	83	0	50	0	0	0	50	27.50	31.95	3.15	2.75	
	86~90	88	0	0	0	0	100	0	35.00		2.51		
E	91~95	93	0	33	0	0	0	67	31.75		2.92		
	96~100	98	0	0	0	0	50	50	37.50	34.75	2.60	2.82	
	101~105	103	0	0	0	0	100	0	35.00		2.94		
F	106~110	108	0	0	50	0	0	50	30.00		3.06		
	111~115	113	0	0	0	0	0	100	40.00	36.67	2.82	2.94	
	116~120	118	0	0	0	0	0	100	40.00		2.95		

Table 3.

Magnetizing force. (A.T./in.)		Silicon (%)							(Si × 100)	($\frac{\text{A.T.m.}}{\text{Si} \times 100}$)			
A.T.	A.T.m	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40					
A	30~35	32.5	0	0	0	100	0	0	0	25.00		1.30	
	36~40	38	0	100	0	0	0	0	0	15.00	22.50	2.50	1.80
	41~45	43	0	0	0	50	50	0	0	27.50		1.56	
B	46~50	48	0	40	20	40	0	0	0	20.00		2.40	
	51~55	53	0	0	40	40	0	20	0	25.00	21.70	2.12	2.47
	56~60	58	25	25	0	25	25	0	0	20.00		2.90	
C	61~65	63	0	0	0	50	50	0	0	27.50		2.29	
	66~70	68	50	0	0	0	0	0	50	25.00	27.20	2.72	2.49
	71~75	73	0	14	28	0	14	0	40	29.00		2.47	
D	76~80	78	0	0	0	0	33	0	67	36.70		2.13	
	81~85	83	0	0	0	50	50	0	0	27.50	31.40	3.10	2.72
	86~90	88	0	0	0	0	100	0	0	30.00		2.93	
E	91~95	93	0	0	0	0	0	50	50	37.50		2.48	
	96~100	98	0	0	0	0	50	0	50	35.00	35.80	2.80	2.74
	101~105	103	0	0	0	0	0	100	0	35.00		2.94	
F	106~110	108	0	0	40	0	0	0	60	32.00		3.37	
	111~115	113	0	0	0	0	50	0	50	35.00	33.30	3.23	3.51
	116~120	118	0	0	50	0	0	0	50	32.00		3.93	

Table 4.

Magnetizing force (A.T./in.)		Phosphorous (%)							(P × 100)	($\frac{\text{A.T.m.}}{\text{P} \times 100}$)		
A.T.	A.T.m	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06					
A	30~35	32.5	100	0	0	0	0	0	1.00		32.50	
	36~40	38	100	0	0	0	0	0	1.00	1.00	38.00	33.50
	41~45	43	100	0	0	0	0	0	1.00		45.00	
B	46~50	48	20	40	40	0	0	0	2.20		21.80	
	51~55	53	16	52	0	32	0	0	2.48	1.96	21.40	30.50
	56~60	58	75	25	0	0	0	0	1.20		48.30	
C	61~65	63	50	50	0	0	0	0	1.50		42.00	
	66~70	68	0	50	50	0	0	0	2.50	2.08	27.20	34.27
	71~75	73	28	42	15	15	0	0	2.17		33.60	
D	76~80	78	0	33	33	34	0	0	3.01		26.00	
	81~85	83	0	50	0	0	0	50	4.00	3.67	20.70	22.90
	86~90	88	0	0	0	100	0	0	4.00		22.00	
E	91~95	93	0	0	0	33	67	0	4.67		19.90	
	96~100	98	0	0	100	0	0	0	3.00	3.22	32.60	43.27
	101~105	103	0	100	0	0	0	0	2.00		50.53	
F	106~110	108	0	0	0	0	50	50	5.50		19.60	
	111~115	113	0	0	50	0	0	50	4.50	4.50	25.10	26.10
	116~120	118	0	0	50	50	0	0	3.50		33.60	

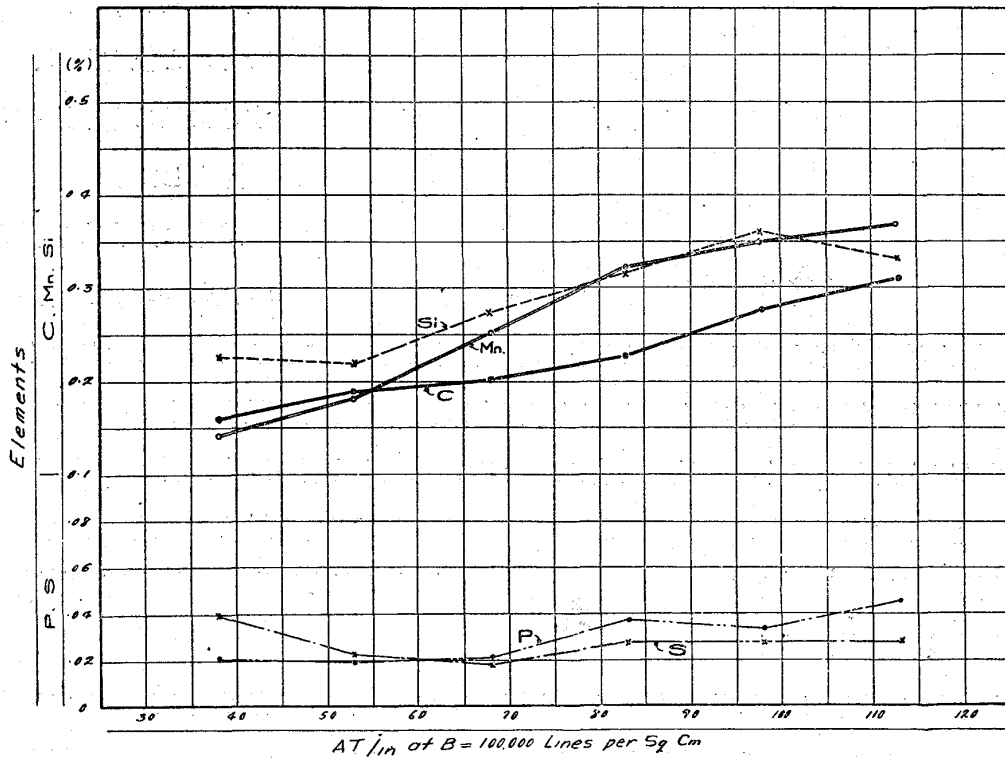
Table 5.

Magnetizing force. (A.T./in.)		Sulphur (%)							(S × 100)	($\frac{\text{A.T.m.}}{\text{S} \times 100}$)		
A.T.	A.T.m	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06					
A	30~35	32.5	0	0	100	0	0	0	3.00		10.80	
	36~40	38	0	0	0	0	0	100	6.00	3.83	6.32	11.44
	41~45	43	0	50	50	0	0	0	2.50		17.20	
B	46~50	48	20	40	40	0	0	0	2.20		21.70	
	51~55	53	50	0	0	0	50	0	3.00	2.07	17.62	32.44
	56~60	58	100	0	0	0	0	0	1.00		53.00	
C	61~65	63	50	0	50	0	0	0	2.00		31.50	
	66~70	68	50	50	0	0	0	0	1.50	1.80	45.40	38.43
	71~75	73	43	28	29	0	0	0	1.90		38.40	

D	76~80	78	33	0	33	0	34	0	3.02		25.80	32.20
	81~85	83	0	100	0	0	0	0	2.00	2.67	41.50	
	86~90	88	0	0	100	0	0	0	3.00		29.30	
E	91~95	93	33	33	34	0	0	0	2.01		46.30	38.07
	96~100	98	0	0	100	0	0	0	3.00	2.67	32.60	
	101~105	103	0	0	100	0	0	0	3.00		35.30	
F	106~110	108	0	0	50	0	50	0	4.00		27.00	47.50
	111~115	113	50	0	50	0	0	0	2.00	2.67	56.50	
	116~120	118	50	0	50	0	0	0	2.00		59.00	

斯く炭素を基準として定めた各供試片につき満俺、珪素、磷及び硫黄の各表を炭素の場合と同一計算方法によりて作成した。第4圖曲線は上の各表より畫いた含有元素量と導磁性の關係にして、第5圖は鐵の導磁性に對する各元素の感度を示したものである。

第4圖 Effect of elements on the magnetic permeability of plain carbon cast steel.

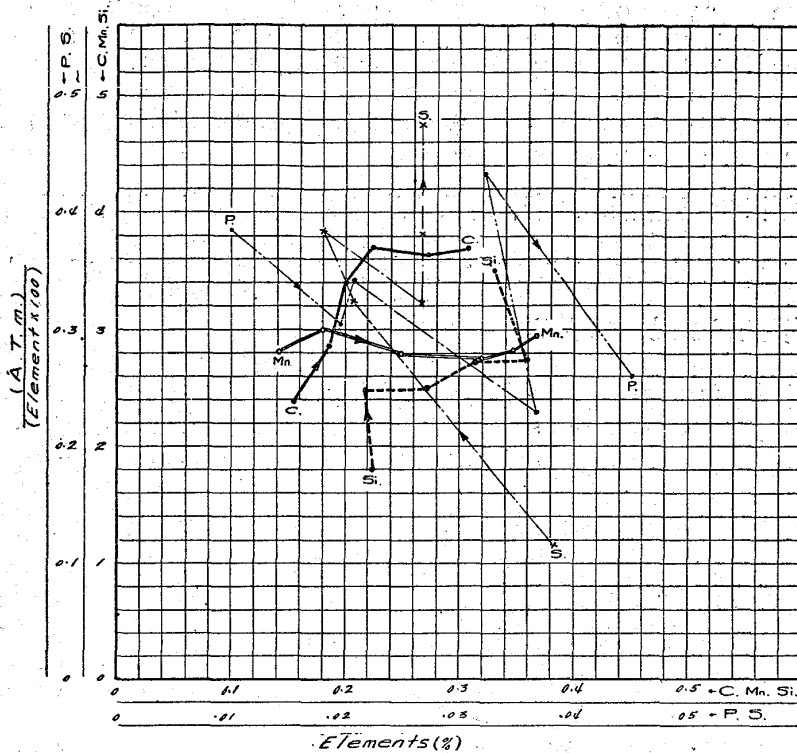


豫備實驗の結果によれば、炭素 0.01%に對し A.T./吋數の増加の割合は、炭素=0.15~0.20%、までは 2.4 より 3.4 に漸増してをるが 0.21~0.40%の間では大體 3.7 の割合にして其間僅に増減せるに過ぎぬ。これを要するに炭素 = 0.15~0.20% の間では鐵が炭素のために受ける感度は 0.21~0.40% の間に於ける感度の 5 倍以上に相當してをると同じ結果となる。

此事實によれば普通炭素鋼の導磁性は炭素 = 0.20%以下に於ては極めて敏感であるが、炭素がこれ以上に達すると其感度を減じ少量の炭素増減によりて鐵の導磁性に著しき變化を與へないことが分る。故に本實驗には 炭素 = 0.20%、を以つて最大限度とし、鋼に對する機械的所要強度に合致せしむるに足る最小量の炭素を其都度決定する方針を採つた。

満俺の影響は炭素ほど大でなく各試料の含有せる範圍の量では判然と感度の變化を認め得ない、こ

第5圖 Sensitivity of common elements on the magnetic permeability of plain carbon cast steel.



これは熔鋼中に含まる酸素（主として酸化第一鐵）及び硫黃と反應するために滿俺は其大部分を奪はれ或は硫化物として存在する結果、鐵と固溶體或は複炭化物となる量が極めて輕微であるために、自然磁氣抵抗に影響する割合が小であると考へらる。故に本實驗試料には熔鋼中に酸素=0.06%、硫黃=0.04%位を含むものと假定して、これに反應するに足る滿俺=0.30~0.40%の間とした。

珪素の感度も判然と認め得ない、Yensen は珪素=0.15%、⁽²⁾

次に於て鐵の最大導磁率を特に高めることを認め、其原因が脱酸にあると考へてをる。しかし本研究の目的は最大導磁率の優劣よりも寧ろ一定の磁束密度に於ける所要起磁力の小であることを主とする上に、珪素以外にもかなり多くの不純物を含んでをるから、此元素の感度が判然と認め得るほど大でなく、寧ろ炭素及び滿俺等のために遮蔽されてをると考へるが至當と思はる。故に本實驗試料には滿俺による脱酸作用の缺點を補足する目的にて、熔鋼の鎮靜度を考慮に入れ其都度適宜加減することとし珪素=0.20~0.30%の範圍とした。

次に磷と硫黃は互に相反した影響を與へる如く觀らるゝも、他の共存元素と比較して感度は極めて輕微であるから、これら元素の直接作用を無視し得べきものと考へ、常に最少限度に保ち以つて鐵の機械的性質に及ぼす悪作用を極減せしむる方針を採つた。

斯く豫備實驗の結果得た概念に基き、本實驗には炭素=0.20%以下、滿俺=0.30~0.40、珪素=0.20~0.30% 磷と硫黃は 0.03%以下と定め、一般直流電動機用磁氣繼鐵として鑄造した鋼より各試料を採りて比較研究を行つた。上の標準化學成分は前記 Yensen 及び Parshall 等の與へてをる代表的成分とはかなり相異してをるが、これは前述の如き種々なる理由の下に工業的に最も適當な成分と考へたからである。

第3節 本實驗の結果 豫備實驗は大正 10 年頃行つたために測定單位に吋法を採用せるも、本實驗には米突法を用ひた、随つて本文中に兩式單位混用の嫌あるを以つて努めて兩者の區別を明かにして説いた。磁束密度 100,000線/□" は凡そ 15,500線/□c.m. に相當す、故に工業的見地の下に此値或は以

上の場合を主として測定し、説明に必要な場合にのみ此値以下を引證することとした。多數の試片につき各元素量と導磁性の關係及び感度を求めたるに、豫備實驗と同一結果となつた、故にこれらの表並に線圖は其重複の繁を避くるために省略せるも、本實驗の結果は同一磁束密度に要せる起磁力即ち A.T./cm 數の不同が著しく減じ、全體的に遙に齊一であつた、これは主として炭素其他の元素量が互に相似であつたことに歸因せることを認めた。

前後 700 餘溶解の鋼につき實驗した方法が全く工業的實驗を基礎としたために、其正確度に於て既知の學說と符合せざる點の存するかならむも、各實驗には可及的正確を期した上に幾多試料の平均値を求めた結果であるから、普通炭素鋼の通有元素量と導磁性との關係を知るに足るものと信ず。

第 4 節 通有元素共存の影響 Yensen⁽³⁾ の實驗によれば炭素が鐵の導磁率に及ぼす影響は他の通有元素に比し著しく大であり、在來一般に痕跡量と看做されてゐた程度の炭素が鐵と固溶體となるために、鐵本來の導磁率は其大部分を失ひ、鐵の最大導磁率と炭素量とは正しく直角形雙曲線となるべきであることが分る、そして本實驗の結果を綜合すると氏の說と一致してをる。

既知の冶金技術は鐵と固溶體となる少量の炭素に對し如何とも調整し得ないのであるから、これがために如何に甚大な害を與へるとするも全く不可避性のものと考へらる。故に鐵の導磁性は炭素と鐵の化合物たる炭化鐵(セメントイト)の存在状態の變化による磁氣抵抗の大小から判斷すべきものと考へらる。即ち等しくパーライトにしても球狀、層狀の差があり又ソルバイト、トルースタイト、マルテンサイト等の磁氣抵抗の相異がある、又組織的變化に伴ふ鐵の結晶粒の大小に因る磁化率の變化等も考慮すべきものと考へらる。

又炭素が鐵の原子に及ぼす作用を他の元素の存在によりて相殺的に一種の中和作用を起さざる限り鐵の導磁性はこれら元素によりて益々悪化すべく、通有元素が化合物となつて鐵中に混在するものは何れも鐵の導磁性に有害である。本實驗試料を全體的に觀察するならば、通有元素量の増加と共に導磁性は次第に悪化してをる、しかしこれら試料個々について觀るならば元素個々の増減が直ちに影響しないのみならず全く反對の傾向にあるものさへ認め得る、然るに今一元素に他の共存元素を併せ考察するならば、通有元素共存の影響と考へうる點が少くない。故に次に此問題について考究して見る。

磁場の弱い間は磁線は地鐵(鐵に少量の炭素が溶解したもの)に通すべきであるから、此地鐵量の多いほど導磁率は良いこととなる、然るに計算上同量の地鐵と考へらるべき鋼の導磁性は必ずしも同等でない、即ち同量の炭素を含む鐵でも導磁性には著しき不同のあることが珍しくない。これは其鋼が造られた温度の高低によりて、鐵中に炭素以外の元素が溶解した量に不同を生じたためか或は樹狀組織の相異若しくは鐵の結晶粒の大小等が主因であり、又鋼を鑄造後に焼鈍した温度或は時間のために起るべきパーライト組織の分布不齊、若しくは酸化物其他非金屬介在物の有無大小等のためと考へらる。

然るに中位の磁場 ($H=30\sim 100$ ギルバート毎cm) に於て導磁率に優劣の差を生ずるものは主としてセメンタイトの存在状態と通有元素化合物の性質或は分布状態によるものと考へらる。例へばパーライトセメンタイトの安定性が満俺のために著しく變化するとか、或は焼鈍の結果層狀パーライトの層の方向が磁線の方向と並行又は直角となつた場合に於てなかり導磁率に影響する。

炭素=0.20% 以下と以上に於て導磁性に及ぼす感度に相異を認め得る理由としては、炭素が此量に達するとパーライトは全體の凡そ 25% となり、今まで游離地鐵に通じてゐた磁線は次第に密度を増して來る上に、磁線の方向に直角であつた地鐵粒も、パーライトのために遮斷され、磁線は自然パーライト粒を迂迴するから附近の地鐵は益々磁氣的飽和状態となる。然るに起磁力を次第に強大ならしむる結果比較的導磁性の悪いパーライト粒にも磁化作用を及ぼして來る、そして炭素=0.20% 附近は此地鐵が磁氣的に飽和する最初の組織が鐵中に起る量に相當するものと考へる。故に炭素がこれ以下では炭素と共に増加するパーライト粒は地鐵粒間に點在する數を増すために、著しく鐵の導磁性を低下するが、炭素が此量以上に達すると導磁性は地鐵量の減少する影響よりもパーライト粒の増加の影響が大となる、そして此場合の磁化作用は既にパーライトを帶磁せしめるに足る力を有してゐるから炭素増加の影響が前の場合ほど害を及ぼさないこととなる。

随つてセメンタイトの安定性を増す満俺の共存、鐵と固溶體となる上に酸化物となるべき珪素の過不足及び種々の化合物となる上に鐵中に溶解する性質を有する磷或は FeS 、 MnS となつて機械的に混在する硫黄等の共存は、鐵の導磁性を自然悪劣ならしむるものと考へる。これと同様に最も有害な炭素が著しく少量の場合でも、満俺其他の元素に過不足ある場合には、これらの直接或は間接影響を受けて案外に悪い導磁性を現はすこととなる。

由來一般直流電動機の設計には、電動機の電氣的能率を考慮する關係上鑄造した各磁氣繼鐵の導磁率は常に優秀にして最も齊一であることを貴ぶ。即ち各繼鐵の導磁性が互に著しく相異してをると自然其内の最も悪い導磁性のものを基準として一定の磁束密度に要すべき A.T. を計算する、故に他の優秀な繼鐵に對しては、全く不當に多くの銅を要し多大の空間を塞ぎ重量もそれだけ増大するために唯に電動機の能率を低下するばかりでなく製産費も著しく嵩むこととなる。

上の一例によるも炭素を無制限に低下することは、鋼として導磁性の安定を缺ぐこととなり、一定の機械的所要強度も保ち得ぬのみならず、炭素低下に伴ふ熔鋼温度の必然的上昇は前述の如く複雑した鑄型に鑄造後完全を期し難い。故に理論的にも亦工業的にも炭素の含有量は製品の種類と機械的強度に準じ 0.15~0.20% の範圍に保ち、酸素と硫黄に對し餘り過不足なき量の満俺を合金するが最も良い。

炭素と満俺が適量に含まれてをる鋼は最も優秀な導磁性を有すべきであるが、若し珪素量に過不足がある場合は自然此元素の直接或は間接の影響を受くべきである。工業的實驗に於て此元素の影響としては判然と認め得ぬ程度であるが、例へば過量の場合は鐵と固溶體或は珪化鐵を造り、又過少の場

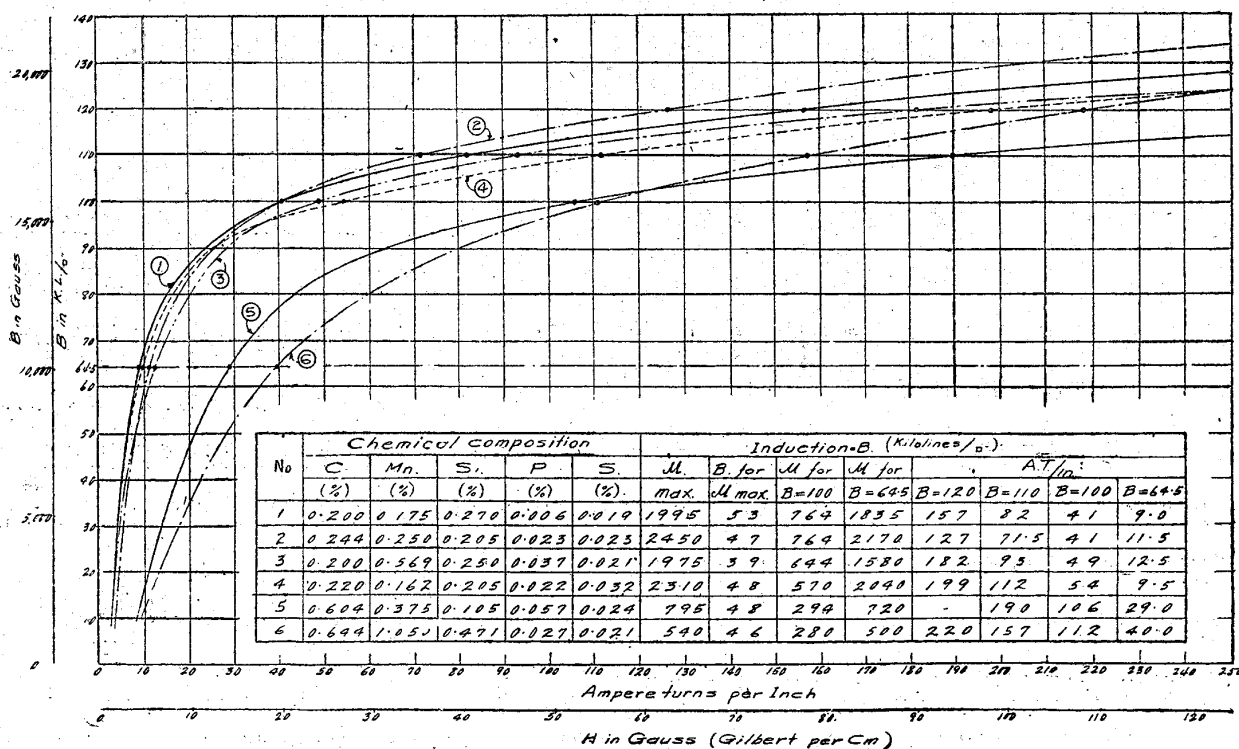
合は満俺による不完全な脱酸作用の補足に不充分となるから唯に導磁性を害するばかりでなく機械的性質にも悪影響を與へる。

故に炭素は機械的強度を與へるに足る最少限を其都度定めて合金し、満俺は脱硫を主とし熔鋼精製中に要すべき満俺は別個の問題として考慮すべきものである、そして脱酸は珪素を主とし更に少量の輕銀によつて行ふ方が其效果確實にして、鐵中に溶解する量も比較的少く且つこれらの化合物は熔鋼より容易に離脱するから、鋼はそれだけ清淨され導磁性も自然良くなる。

燐と硫黄が相反した影響を與へる如く一般に考へられてをるが、本實驗試料の含有せる程度では善惡何れの作用を與へるとするも極めて輕微に過ぎぬ、故に鐵の導磁性に關する影響よりも寧ろ機械的性質に及ぼす悪作用を避くべく常に最少量とすべきである。

第5節 磁化曲線の傾向 磁化曲線に2つの判然とした傾向がある、即ち最大導磁率値の高い割合に最大磁束値が高くないものと、これと全く反對の傾向を現はすものとある。

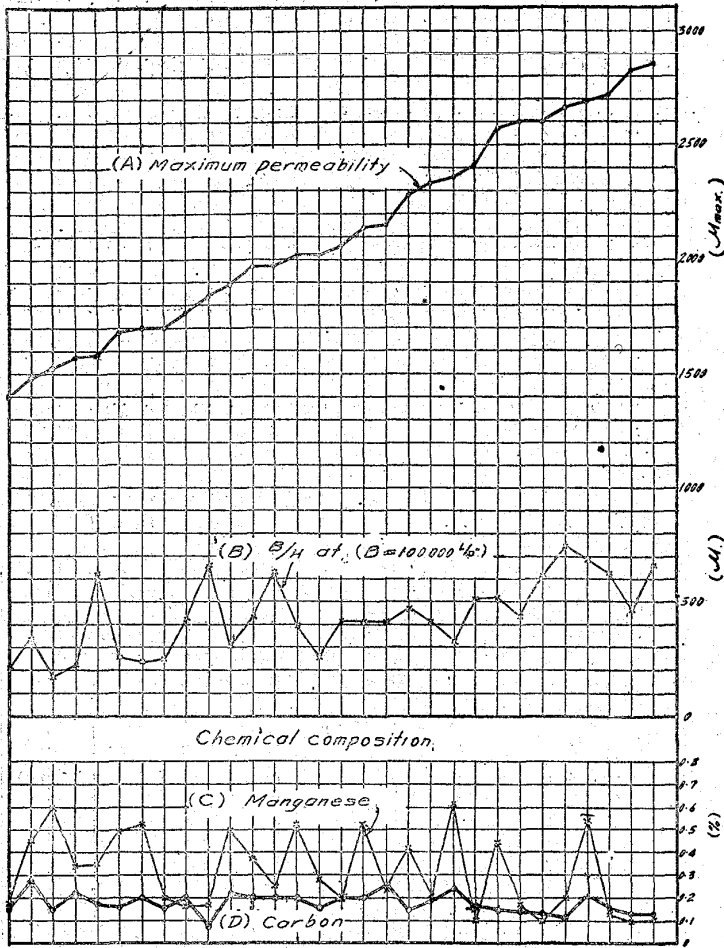
第6圖 Propensity of magnetizing curve



第6圖はこの一例として6個の試料を選んだ、即ち曲線1と2は $B=100,000$ 線/□' に要せる A.T./吋 數は圖中表示せる如く全く同數であるが、 $B=120,000$ では 157 と 127 となり其間30の差を生じてをる。これと同様な關係は曲線3と4及び5と6にも認め得る。これによれば中位の磁場に於ける普通炭素鋼の導磁性の優劣は、鋼の化學的成分よりも其鋼に與へらるべき磁束密度の高低によりて定まる場合のあることが分る。此事實に對する理由は前節の説明によりて自から明かと思ふ。

第7圖は最大導磁率値の低いものより順に配列し、 $B=100,000$ 線/□" (凡そ $15,500$ 線/cm²) に於け

第7圖 Effect of manganese and carbon on the magnetic permeability of plain low carbon cast steel.



る導磁率並に各試料の炭素、滿俺の含有量と對照した。これによれば最大導磁率の高いものは中位の磁場に於ても概ね高い導磁率を現はしてをるからヒステリシス損失も小であると考へ得るしかしこれら試片個々について觀るならば必ずしも如斯決定のものでなく、又最大導磁率の値と炭素含有量とは全體的には相反した傾向を認め得るも滿俺の影響がかなり大であることが知れる。

第8圖は $B=15,500$ 線/cm² に要せる A.T./cm 數の最少より最大に至る順に配列し (I)、これら試片の $B=14,000$ (II) 及び $10,000$ (III) に要せる A.T./cm 數と炭素、滿俺、珪素含有量とを對照した。圖中 (I) の曲線では A.T./cm 數の最小 11.6 と最大 20.5 は 1:1.77 の比に相當するが、曲線

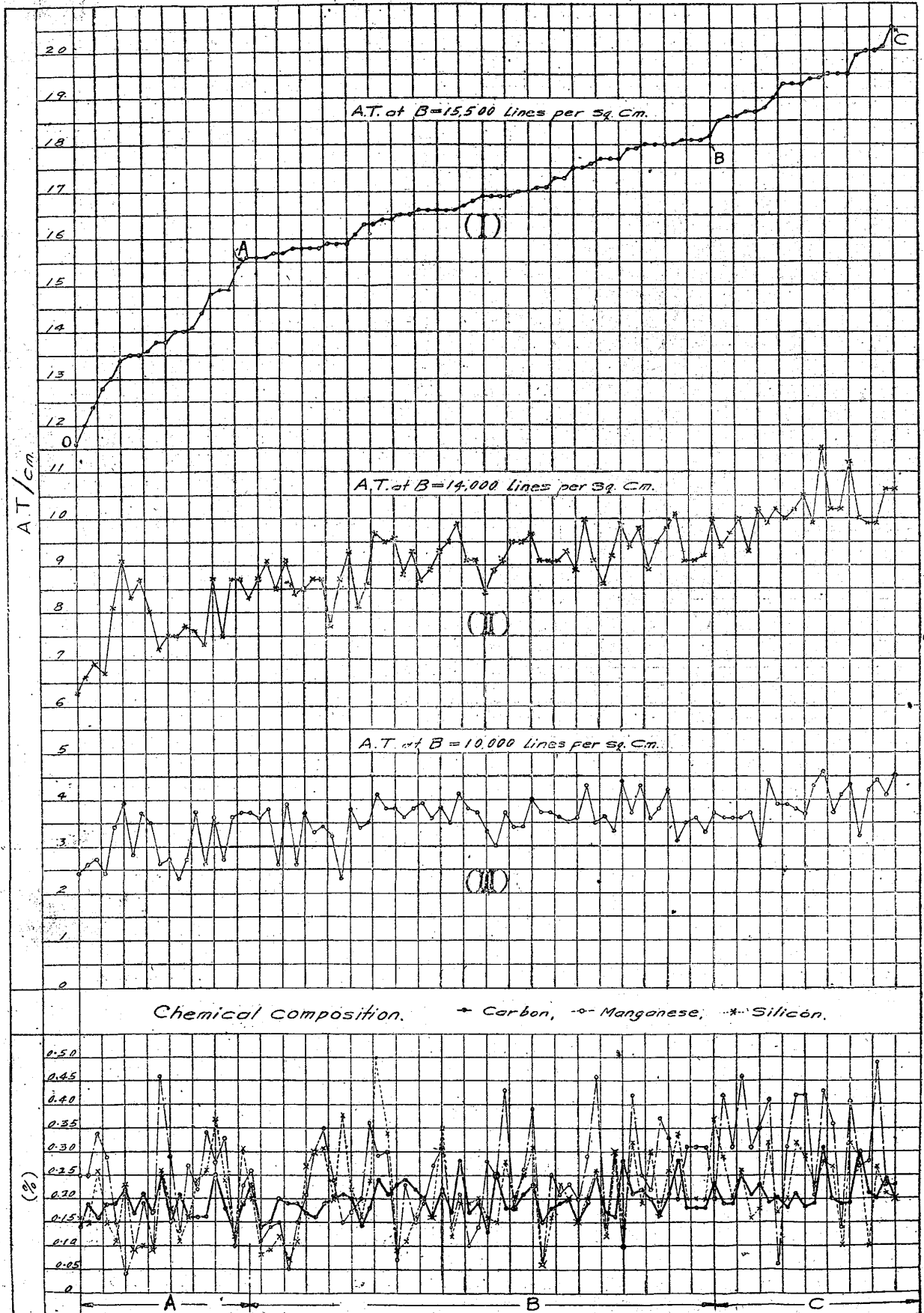
(II) と (III) はそれぞれ 1:1.82 と 1:1.94 に相當してをる、即ち普通炭素鋼の磁化率は磁場の低弱であるほど次第に不安定となることが分る。此事實によるも炭素鋼の導磁性を弱い磁場に於て常に優秀齊一ならしむることは容易でなく、珪素鋼其他の特殊合金鋼に劣ることが分る。

更に曲線 (I) では A.T./cm 數は O→A 間に急増し、A→B 間では殆んど直線的に漸増して B→C 間に於て再び階梯的に急増してをる、然るに曲線 (II) と (III) では全體的に鋸齒狀を呈し (I) の如き傾向を判然と認め得ない、即ち此種鋼の導磁性は與へらるべき起磁力の強弱によりて著しき不同を生ずる、そして斯く不同を生ずる原因が炭素、滿俺、珪素等の共存の影響も其一因なることが明かに認め得る。

第IV章 機械的性質と導磁性

此種鑄鋼品に對する機械的強度としては抗張力 = 41~55 kg/mm² 延伸率 = 20% 以上 (標點距離 = 50 mm、直徑 = 14 mm) が一般である、しかし著者の實驗材料は抗張力 = 37~44 kg/mm²、延伸率 = 20% 以上、(標點距離 = 100 mm、直徑 = 10 mm) の規格に準じた。上の指定規格は何れも簡易にして何等困

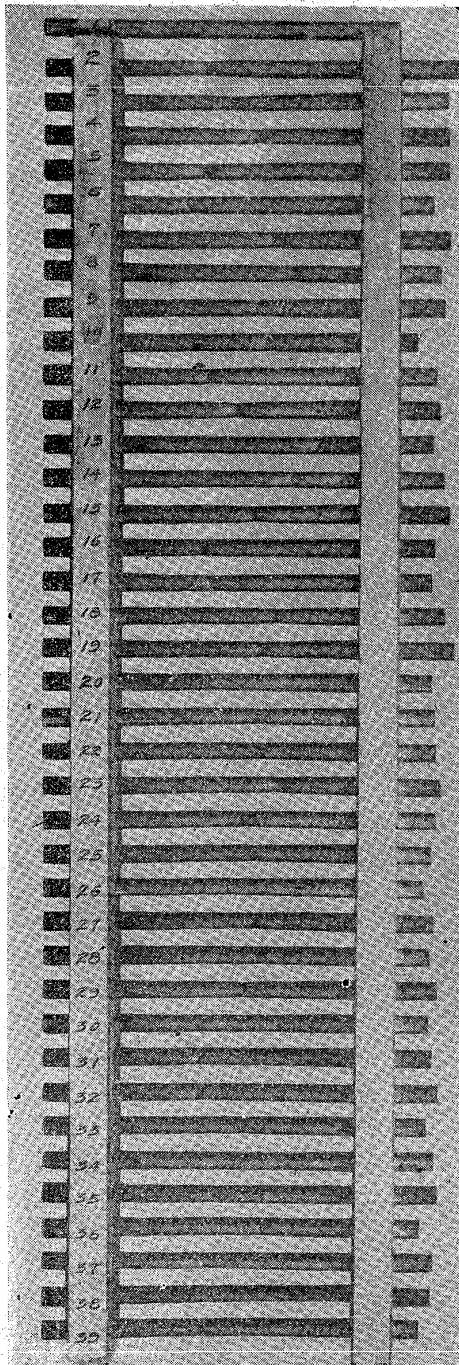
第 8 圖 Effect of carbon, manganese and silicon on the magnetic induction of carbon steel.



難を認めない、殊に前者は極めて廣い範圍の抗張力にして此最小と最大との間には、導磁性にかなり相異なるべしと考へらる。故にこれを知る目的で次の實驗を行つた。

第1節 實驗の方法 供試片は導磁率測定試材の一半を直徑=10 mm、標點距離=100 mm に適せる長さに仕上げ、オルセン自動表示式抗張試験機の容量 10,000 kg によつて實測した。これら試片は

第 9 圖



Showing general appearance of test pieces broken by tension offer measuring the magnetic permeability, successively arranged from superiority to inferiority oneras indicated by number.

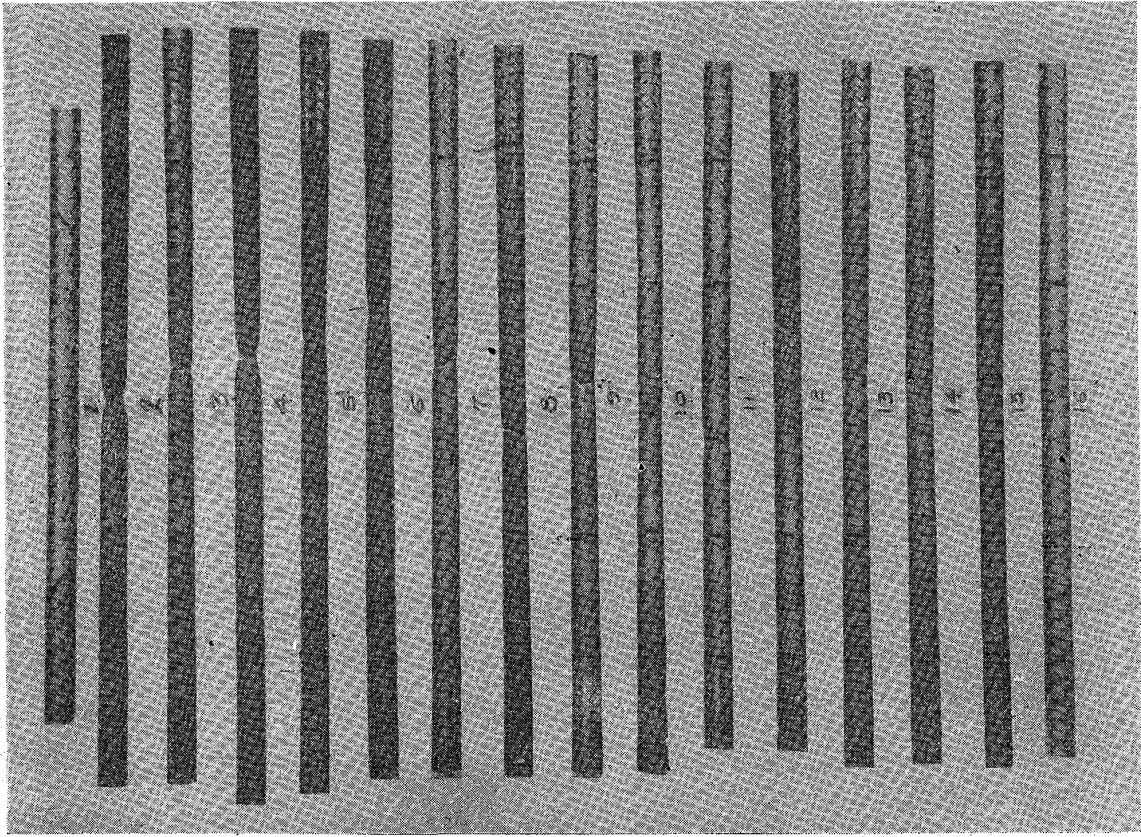
何れも層狀パーライトが充分に發達する程度の普通焼鈍方法を施したものである。

第2節 抗張力及び延伸率 第9圖寫眞は導磁率測定後張力による破斷模様を知る目的で長さ 254mm、直徑 12.7 mm の試片について實驗した結果である。

圖中記號(1)は供試片の原形にして(2)以下は同一磁束密度に對する所要起磁力増加の順に配列して全體的に示し第10圖は上の試片中より代表的破斷模様のものを選んだ。第11圖は某鑄鋼所より得た酸性轉爐鋼につき實驗した結果にして、第12圖は第10及び第11圖の伸びの割合を比較したものである。これによれば本實驗試料(A)は導磁性の低下するに従ひ次第に伸びを減じ試片13より再び増加してをる、然るに轉爐鋼(B)は導磁性の優劣と無關係に伸びの變化を現はしてをるが試片12より再び増加してをる、此轉爐鋼に施した焼鈍方法は詳に知るを得ざりしも、焼鈍効果が全體的に不齊一であり混在酸化物多く實質的に優秀なものと認め得なかつた。然るに(A)は試片13以下に於て焼鈍効果が幾分不足してをること認めた。此焼鈍効果の不十分である場合は顯微鏡組織によつて明かに知れる以外に、供試片の破斷模様によつて知ることが出来る、例へば全體伸び、(Total elongation)の大である割合に局部伸び(Local elongation)及び斷面收縮率が低い上に試片の表面には破斷豫象(Incipient cracks)及び波紋を現はすのが常である。

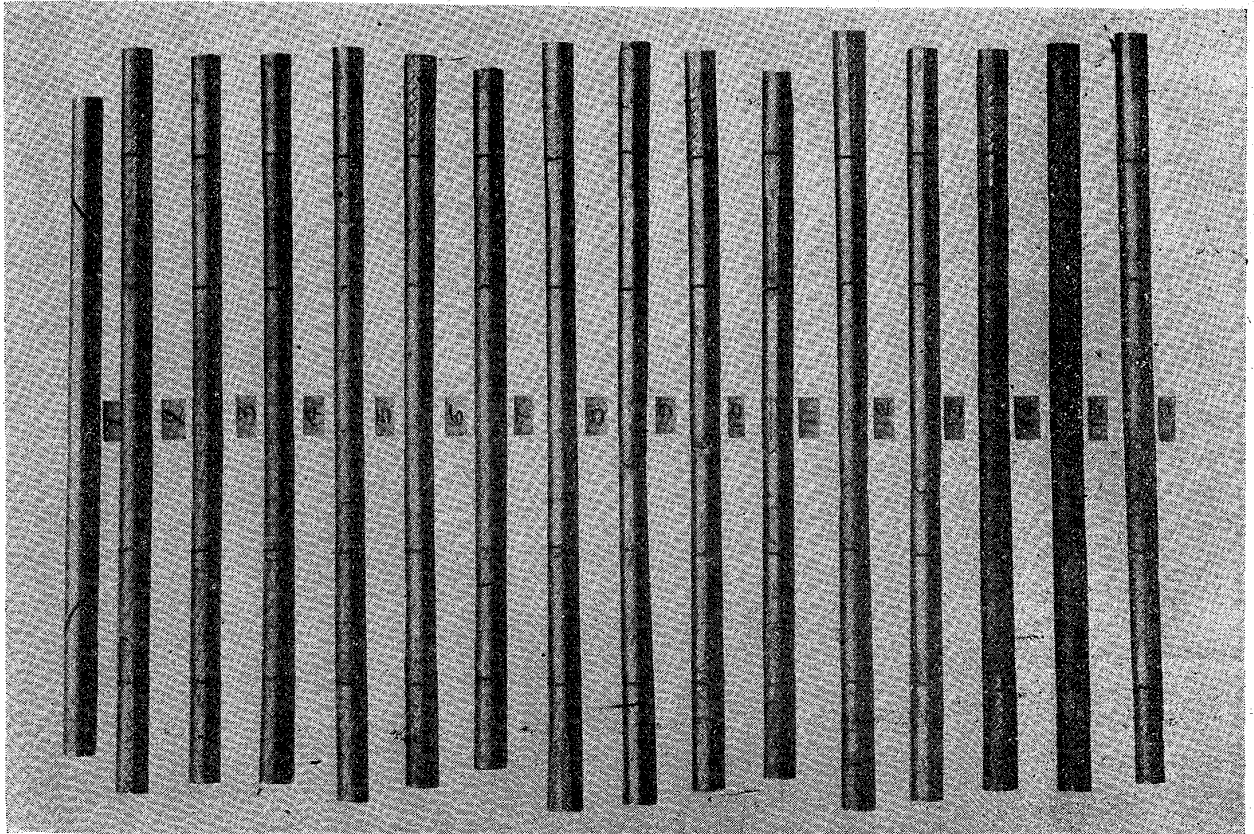
第10圖に明かなる如く等しく充分に焼鈍された場合には導磁性の優秀なるものは、斷面收縮率大にして破斷點は標點間の中央に位し延伸率も相當大である。即ち鋼は靱性に富み組織的は齊一であることが優秀な導磁性を有することとなる、然るに轉爐鋼は唯に焼鈍効果不十分に於て組織的に均一

第 11 圖



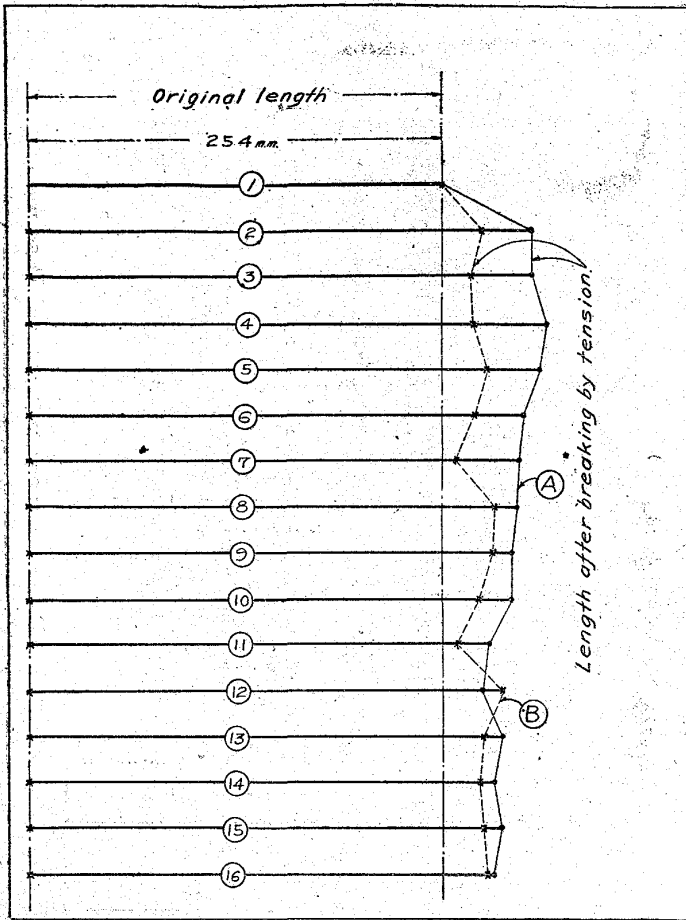
Broken appearance of acid Bessemer steel, offer measuring the magnetic permeability.

第 10 圖



To show a typical appearance of broken test pieces according to the magnetic induction selected from the Fig.9

第 12 圖



Comparison of elongation propensity of the Figs. 10 and 11.
 (A) = Basic electric furnace steel.
 (B) = Acid Bessemer converter steel.

を缺いでゐたばかりでなく多くの酸化物を混有し、満俺量が著しく大であつた等のために寫眞の如き破斷模様を呈し導磁性も相互に不同を大ならしめたのである。

第 13 圖は第 9 圖の場合と同様に導磁性の優秀なものより順に配列して各試片の機械的性質を畫いた。此曲線によれば鋼の導磁性の低下するに従ひ抗張力は増し延伸率は低減してをるが、これら最大値と最小値との差は餘り大でないことが分る。斯く機械的性質の相似た鋼に於ても導磁性には著しく相異してをる、随つて鋼に對する機械的指定規格の範圍の大であるほど導磁性は互に著しき相異のあることが分る。例へば著者の 37~44=7 kg/mm² の範圍の規格に準じたものと 41~55=14kg/mm² 即ち前者の 2 倍に相當してをる上に、延伸率も各 20% 以上

ではあるが前者は標點距離 100 mm 直徑 10 mm に對し後者は 50 mm 直徑 14 mm であるから前者よりも大となるべきである。此事實によれば鋼の靱性或は組織的均一度其他熔鋼精製上要すべき技術の上にも兩者間にはかなり相異あるべく、自然導磁性の優劣並に齊一度の上にも影響することとなる。

これを要するに普通炭素鋼の導磁率は其鋼の抗張力或は延伸率の値によつて直ちに律し得ないほど鋭敏である、随つてこれら抗張力及び延伸率は極度に其範圍を狭ばめ、斷面收縮率並に延伸率の優秀な値を規定することが、實際作業上には幾分困難なるも製品は常に優秀にして齊一を期す上に良いことが分る。

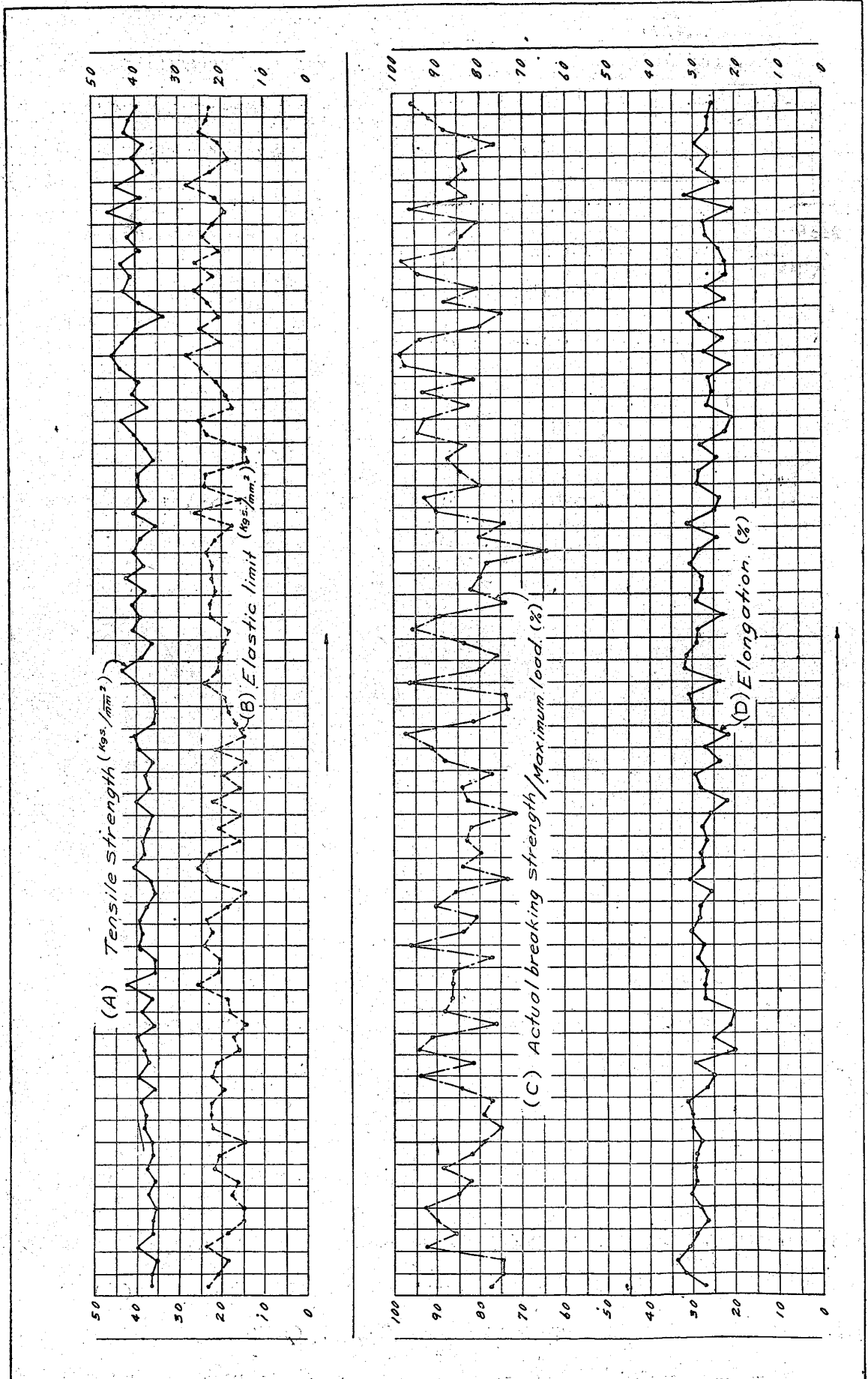
第 V 章 熱處理效果と導磁率

鋼が熱處理效果を異にしたために其導磁性は如何に變化するか、これを確むるために先づ第 6 表の如き炭素鋼より 18×18×300 mm の試片 6 本を採り、次の如く實驗した。

第 1 節 組織的變化の影響 上の供試片個々に次の熱處理を施した。

- (1) …… 鑄放し …… (鑄造初期の結晶にあるもの)
- (2) …… 特種燒鈍 …… (黒心可鍛鑄鐵に對す

第 13 圖



Respective mechanical properties of carbon cast steel successively arranged from superiorly to inferiorly magnetic permeability.

Table 6.

Chemical Analysis. (%)

C.	Mn.	Si.	P.	S.	Cu.
0.226	0.451	0.222	0.030	0.025	0.090

る焼鈍法と同一の焼鈍を施した) (3) ..

..普通焼鈍....(900°C に熱し此温度に 1 時間保ち其爐内にて徐冷) (4)....組織標準

化....(930°C に熱し此温度に 1 時間保ち爐

外靜空中に放冷) (5)....油中健淬....((3)と同様に熱して 20°C の鯨油中に健淬) (6)

....水中健淬....(3)と同様に熱して 20°C の水中に健淬)

第 14 圖寫眞(1)より(6)はそれぞれ下表の 1~6 に相當する顯微鏡組織 (100×2/3倍)にして、第 7 表はこれらの導磁率測定後に實測した機械的強度である。

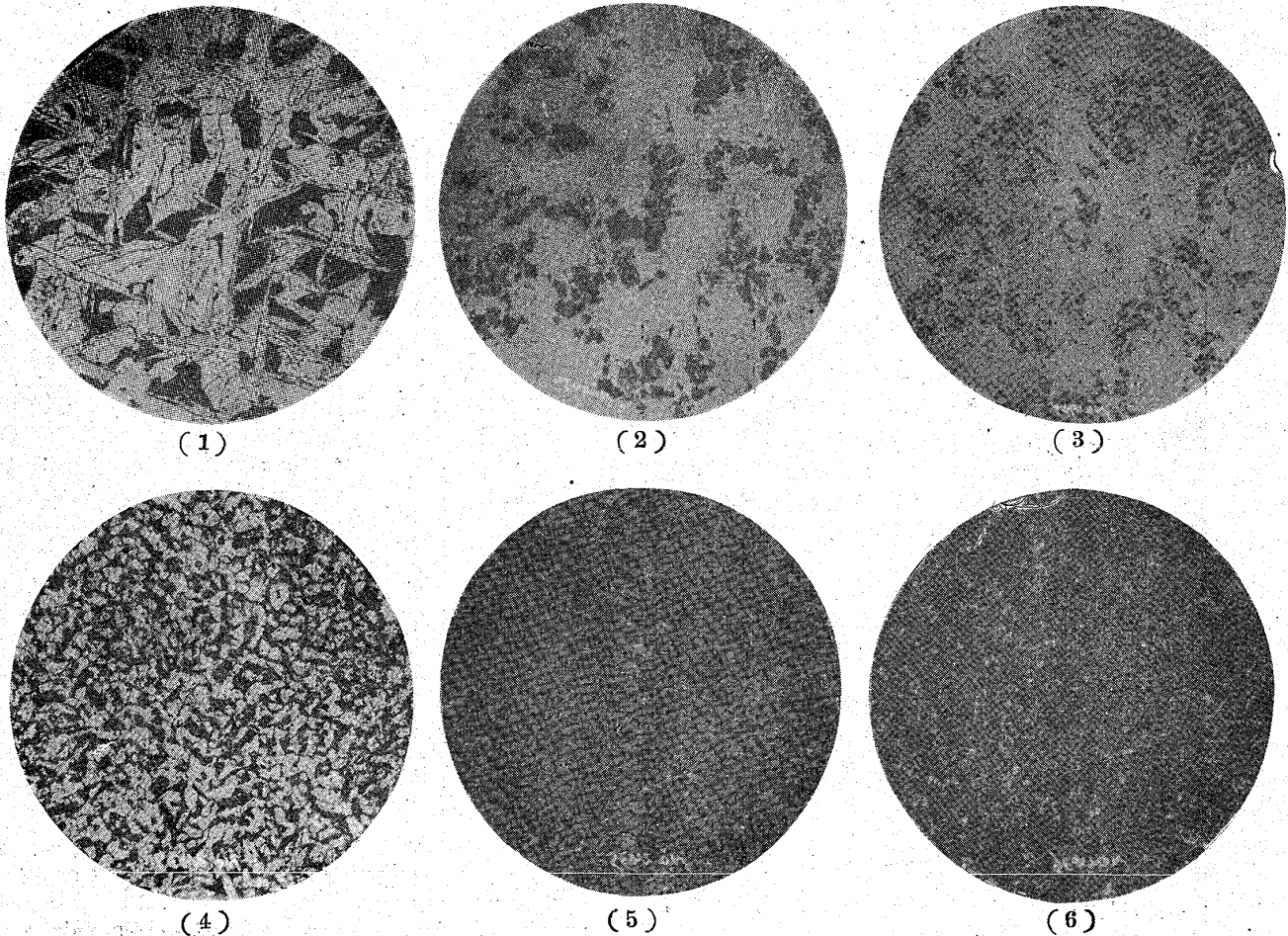
Table 7.

Mechanical Properties.

Specimen	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
T.S. kgs/mm ²	41.59	41.62	41.32	45.16	57.69	61.28
Elongation * (%)	20.00	30.00	27.75	20.75	11.25	4.00

* Gauge length. = 100mm. Diameter = 10mm.

第 14 圖



① = As cast.

② = Special anneal.

Typical Structural Change. (×100%)

③ = Ordinary anneal.

④ = Normalization

⑤ = Quenched in Oil.

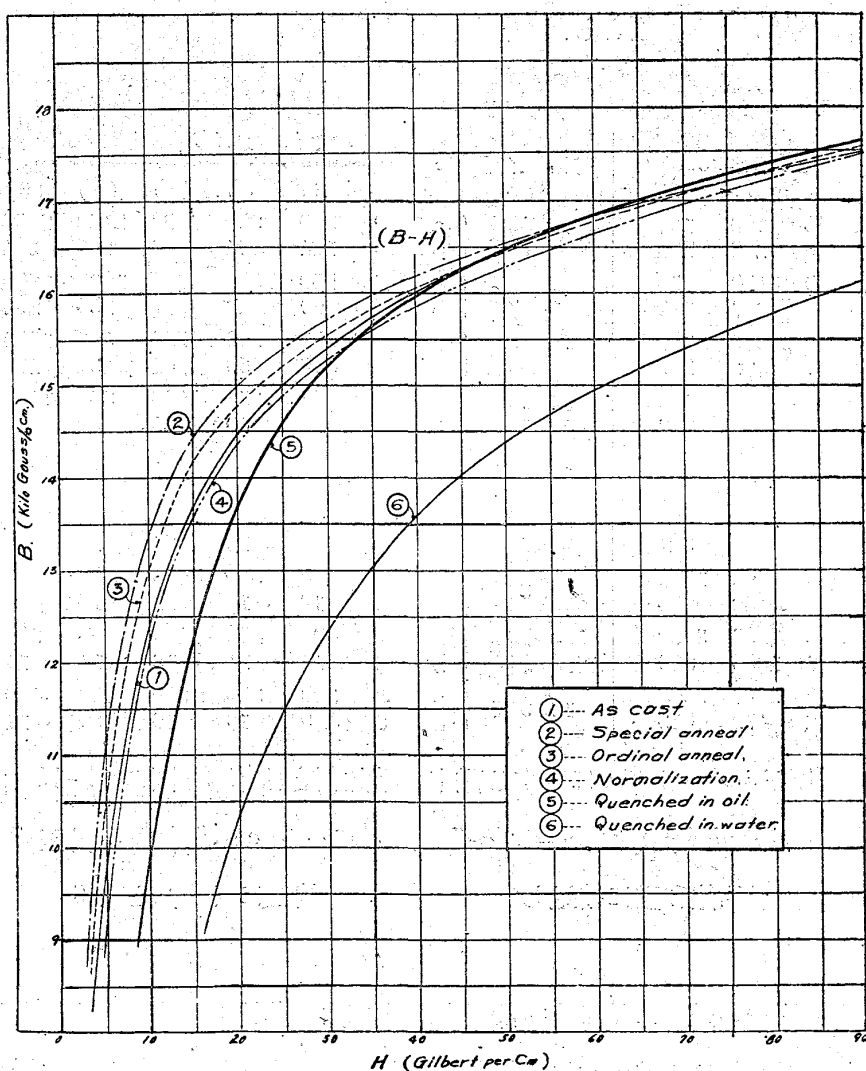
⑥ = Quenched in water.

Table 8.

H	B						H	B							
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)		
1	0.5	350	400	350	250	100	100	11	29.5	15300	15650	15500	15200	15100	12300
2	1.0	1450	1800	1200	700	250	150	12	38.0	15300	16100	15900	15700	15750	13300
3	1.5	3150	3850	2900	1500	500	250	13	53.0	16600	16600	16550	16300	16600	14600
4	2.0	4750	5700	4750	3000	800	400	14	76.0	17300	17200	17200	17100	17300	15600
5	2.5	6200	7400	6500	4700	1200	500	15	115.0	18000	18000	17950	17900	18000	16700
6	3.9	8300	9650	8900	7450	2600	950	16	153.0	18600	18500	18500	18450	18600	17400
7	6.1	10400	11700	11100	10000	6000	2250	17	188.0	19000	18900	18500	18900	19000	17900
8	10.0	12400	13400	13100	12250	9900	5600	18	224.0	19300	19200	19250	19250	19300	18300
9	14.2	13400	14200	14000	13350	11900	7900	Maximum Permeability							
10	21.5	14600	15100	14900	14500	14050	10700	2280	3100	2500	2110	1070	560		

斯く單に組織のみ異にせる試片の導磁率は第8表の如く、これによつて畫ける磁化曲線は第15圖の如くなつた。最大導磁率は特種焼鈍即ち2段の溫度に於て長時間焼鈍せる(2)が最も高く(3)、(1)、(4)、(5)、(6)の順となつてをる。然るに起磁力が強大となるに伴ひ磁束密度の増加割合は

第 15 圖



Difference of magnetizing curves due to the structural change.

前記最大導磁率値の順とかなり相異してをる。例へば試片(5)の如きは $H=33$ ギルバート cm、($B=15,400$ ガウス cm^2) 附近より帯磁性を益々増加し、 $H=60$ ギルバート cm ($B=16,800$ ガウス cm^2) 附近に於ては遂に(1)と同様に最も勝れた磁束値を現はしてをる。上の結果に於て(1)と(5)の導磁率が中位の磁場に於て相會してをることは興味ある事實である。

此理由としては(1)は(5)よりも結晶粒大にして游離地鐵多きために初め磁化易ひが、鑄造初期の結晶にあるためにパーライトの發達不充分にして、鑄造直

後の冷却速度の局部的不均一なために自然組織的に不齊一と内部歪みを免れないから(2)と(3)に比して初め磁化困難となる。然るに磁場が強大となるに従ひ比較的不完全な發達状態にあるパーライト粒も或る起磁力以上に達すると一勢に磁化すること及び結晶粒粗大であるために表面分子磁石も容易に磁線の方向に向ふ等相俟つて益々磁化性を現はすものと考へらる。

試料(5)は熱處理効果によりて結晶粒は著しく小さく分子磁石説によるも初め磁化困難なるべく、游離地鐵少きことゝ相俟つて初めの磁化を益々困難ならしむるが、磁場が或る強度に達するときは起磁力は上の抗磁性に打勝つに至るべく、パーライトセメンタイトの細微化により自然セメンタイトの磁氣抵抗も減じ組織的に齊一であることなど相俟つて中位の磁場に達すれば導磁性が良くなるものと考へらる。

各試料が單に組織のみを異にする場合、導磁性は上の如く變化するが、更に此變化を明かにするために、單位起磁力によりて磁束の増加する割合を次の如く求めた。即ち起磁力の増差 ΔH 、とこれに對する磁束密度の増差 ΔB 、を計算し、 ΔB 、を“a”に置き($\Delta B/\Delta H$)の値を“b”として示せば第9表の如し、そして“b”値を縦軸に ΔH 値を番號順に(これは ΔH 値に準じて間隔を取るべきであるが、曲線の傾向を見易くするために同一間隔に番號順とした)横軸に畫きたるに第16圖の如くなつた。

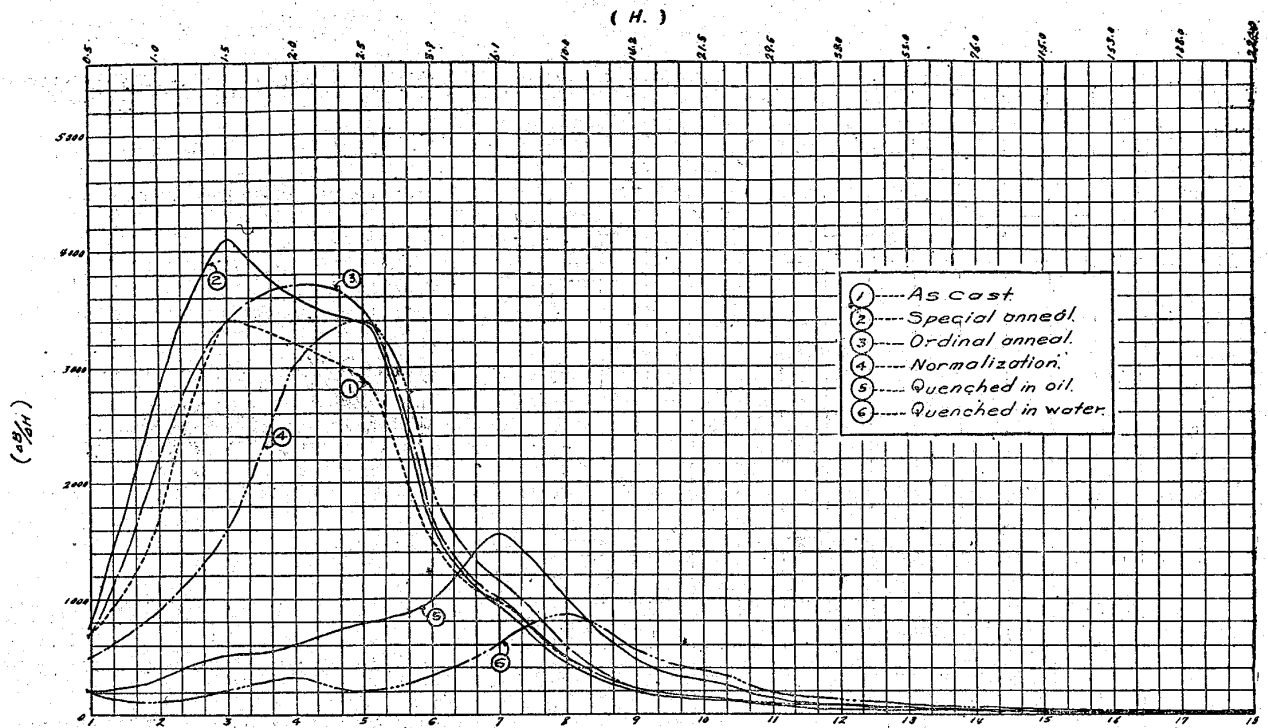
Table 9.

No.	ΔH	ΔB						No.	ΔH	ΔB							
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)			(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)		
1	0.5	a	350	400	350	250	100	100	10	7.3	a	1200	900	900	1150	2150	2800
		b	700	800	700	500	200	200			b	165	124	124	157	295	384
2	0.5	a	1100	1400	850	450	150	50	11	8.0	a	700	550	600	700	1050	1600
		b	2200	2800	1700	900	300	100			b	87	69	73	87	130	200
3	0.5	a	1700	2050	1700	800	250	100	12	8.0	a	500	450	400	500	650	1000
		b	3400	4100	3400	1600	500	200			b	62	56	50	61	81	125
4	0.5	a	1600	1800	1850	1500	300	150	13	16.5	a	800	500	650	600	850	1300
		b	3200	3600	3700	3000	600	300			b	49	30	40	36	52	79
5	0.5	a	1450	1700	1750	1700	400	100	14	22.0	a	700	600	650	800	700	1000
		b	2900	3400	3500	3400	800	200			b	32	28	30	36	32	46
6	1.4	a	2100	2250	2400	2750	1400	450	15	39.0	a	700	800	750	800	700	1100
		b	1500	1610	1710	1965	1000	321			b	18	21	19	21	18	28
7	2.2	a	2100	2050	2200	2550	3400	1300	16	39.0	a	600	500	550	550	600	700
		b	954	930	1060	1160	1550	590			b	15	13	14	14	15	18
8	3.9	a	2000	1700	2000	2250	3900	3350	17	35.0	a	400	400	400	450	400	500
		b	512	435	512	579	1000	860			b	11	11	11	13	11	14
9	4.2	a	1000	800	900	1100	2000	2300	18	35.0	a	300	300	350	350	300	400
		b	238	190	215	212	479	550			b	9	9	10	10	9	11

これら曲線の傾向によれば $H=1$ ギルバート cm に對する磁束の増加割合は第15圖の(B-H)曲線と當然一致してをるが、試料(1)乃至(4)は $H=2.5\sim 6.1$ ギルバート cm (番號5乃至7)の間に於て磁化率の割合が急減して磁氣的飽和點に接近したことが分る、然るに(5)と(6)は此間に於て磁化率が急増し(6)は(5)よりも更に強磁場に於て飽和することが知れる。

此事實に對する理由としては比較的弱い磁場に於ては内部歪力、結晶粒、游離地鐵等の大小、酸化物其他非金屬介在等の有無多少が主因となつて磁束増加の割合を左右してをると考へらるが、磁場が

第 16 圖



Increment of magnetic inductions.

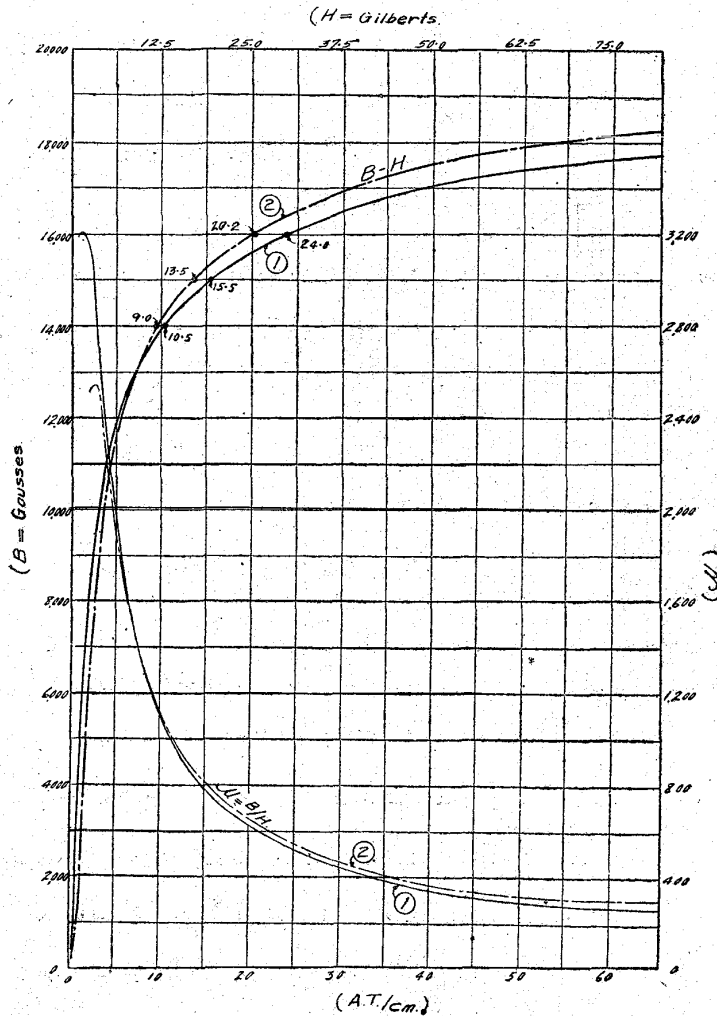
強大となつてから磁化率を急に増加してをる健淬鋼では勿論上述の諸原因の影響大なるために初め極めて低いけれどもパーライトが磁化するに足る強さの磁場値に達すると前にも述べた理由によりて導磁率が良くなる。

更にこれを鋼の組織から考へると層状パーライト、ソルバイト性パーライトは $H=6$ ギルバート cm 附近(番號=7)に於て最も磁化し易い、そしてトルースタイト及びマルテサイトは $H=10\sim 21$ ギルバート cm 間に於て磁化すると考へらる。又 $H=4$ ギルバート cm(番號=6)以下の磁場では主として鐵の受けた歪力、游離地鐵の量、酸化物等の多少其他結晶粒の大小によつて導磁性が左右されるものと思ふ。

第2節 焼鈍の効果 多數の熔解による鋼より $18\times 18\times 300$ mm の角棒各 2 本を削製し、第1節(1)と(3)の状態に於て實驗した、これら代表的組織は第14圖(1)と(3)に相當し磁化曲線は第17圖の如し。

此曲線と第15圖(1)と(3)を併せ考へるならば、普通焼鈍の効果は磁場の強弱共に善惡何れとも判定し得ざる程度に過ぎぬことが分る。これは假令同一型に鑄造した場合でも鑄造時の熔鋼並に鑄型の溫度、鑄造直後の局部的冷却速度等の不同による鐵の結晶粒、樹状組織或は不純物擴散状態にも自から相異を免れないために、焼鈍前の組織にも導磁性の良いものもあり得べく、又介在酸化物の酸化度の大小によりて焼鈍中周圍のパーライトと反應して地鐵化せしむる量にも不同を生ずる外に結晶粒の大小、内部歪力の差、満俺量の多少によるパーライト粒の發達度の相異等によりて導磁性は磁場の強弱共に優劣の不同を生ずべきである。

第 17 圖



Effect of annealing on the magnetic Permeability of plain carbon cast steel.

①...As cast. ②...Annealed.

る如く、焼鈍の影響がパーライトセメンタイトの磁化性に變化を與へると考へらる、即ち珪素量の少い場合は普通焼鈍のためにパーライトの磁氣的感度を低下せしむのではないかと思ふ、眞の原因が何れにありとするも普通焼鈍の効果は餘り大でない。

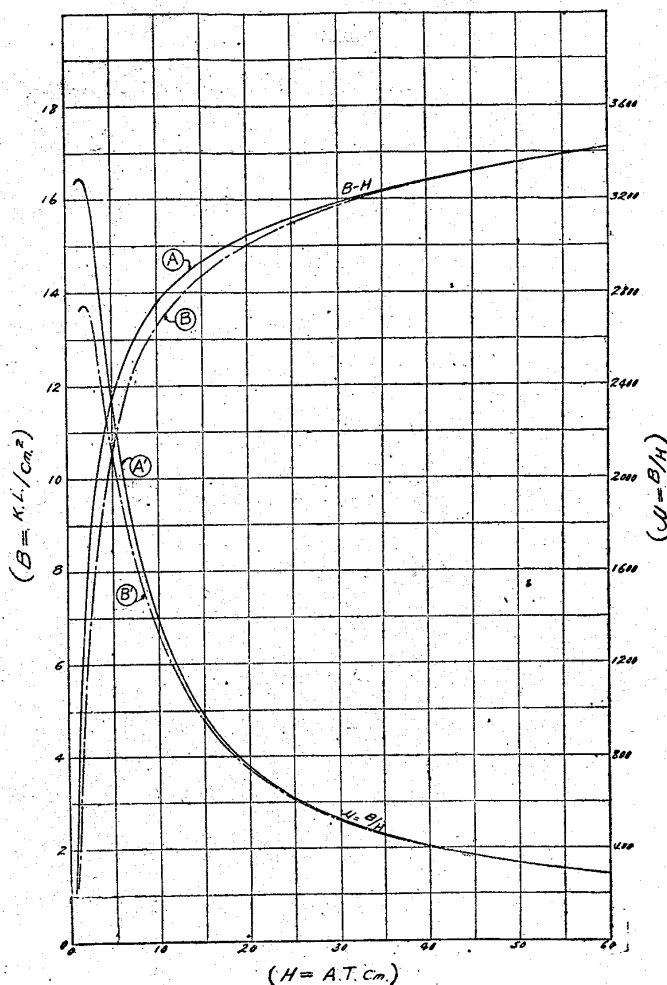
第3節 組織標準化の影響 前節の場合と同様に各2本の試料を採り、第1節の(3)及び(4)の熱処理を施して導磁性の變化を測定した。

これら試料の代表的顯微鏡組織は第14圖寫眞(3)と(4)に相當し、磁化曲線の傾向は第18圖の如し、圖中(A)は普通焼鈍(B)は組織標準化處理を施した結果である。これによれば $H=40\sim 50$ ギルバートcm 附近にて(B)は(A)と同値の磁束密度を示してをる、そして斯く初め悪く終はりに良くなる傾向にも試料の含む炭素と滿俺量によつて變る。例へば炭素=0.20、滿俺=0.40%、位を含むものは圖の如くなるが、兩元素量がこれより幾分増加したものは第15圖の如く磁場の強弱共に(B)に相當するものが劣つてをる。これは曾つて Nevile 及び Cain の實驗の結果明かなる如く、炭素と滿俺との相助的作用に歸因するものと考へらる。

Hadfield⁽⁴⁾の説によるも珪素鋼の最大導磁率が著しく改善された原因は熱處理の改良によりて鐵の結晶粒擴大に歸因することが知れるけれども中位以上の磁場に於ては反て悪くなつてをることが分る。これは珪素鋼の用途の關係上改善と考へらるが本實驗の試料に此傾向は良くないこととなる。即ち最大導磁率値よりも寧ろ最大磁束値の高いことを主とするからである。

第15圖(2)の曲線は上の珪素鋼と似た傾向にある、即ち鐵の結晶粒も擴大しパーライト發達も充分と考へらるものが初め磁化し易ひ割合に最大磁束値は高くない、これは結晶粒發達に伴ひ分子磁石説によるも初め帯磁し易かるべきも、中位の磁場に於ては恰も亞擬共晶鋼と過擬共晶鋼のセメンタイトの磁性に相異あ

第 18 圖



Effects of annealing and normalization on the magnetic permeability of plain carbon cast steel.

(A) ... Ordinary annealing.
(B) ... Normalization.

槽中にそれぞれ健淬した。これら試片の代表的組織は第 14 圖 (3)、(5)、(6) に相當し、導磁率は第 10 表の如く磁化曲線は第 19 圖の如し。

上の事實から考へると弱い磁場に於て磁化率の悪いことは鐵の結晶粒の細微化と、比較的急冷による内部歪力に由來し、中位の磁場に於ては炭素と滿俺量の少いものほど早く (A) の値に達することが分る。即ち前者は前に述べた理由から當然であり、後者は炭素と滿俺の相助的作用程度の相異に因るものと考へらる。故に炭素と滿俺を極度に低減して此熱處理を施すならば、鐵の機械的強度の不足を補ふと同時に、磁性に有害な元素による影響が自然減ずるために、組織の均一と相俟つて中位以上の磁場に於ては優秀齊一な導磁性を與へ得ることとなる。

第 4 節 健淬の影響 導磁率測定用試験片と同一寸法に仕上げたもの各 3 本を採り、表面の酸化を防ぐために鋼管内に納め兩端を石綿と粘土にて充分塞ぎ、抵抗式電氣爐にて徐々に $900^{\circ}C$ に熱し此溫度に 1 時間保ち 1 本は其爐内にて自然冷却を行ひ、他の 2 本は爐外に設けた $20^{\circ}C$ の水及鯨油

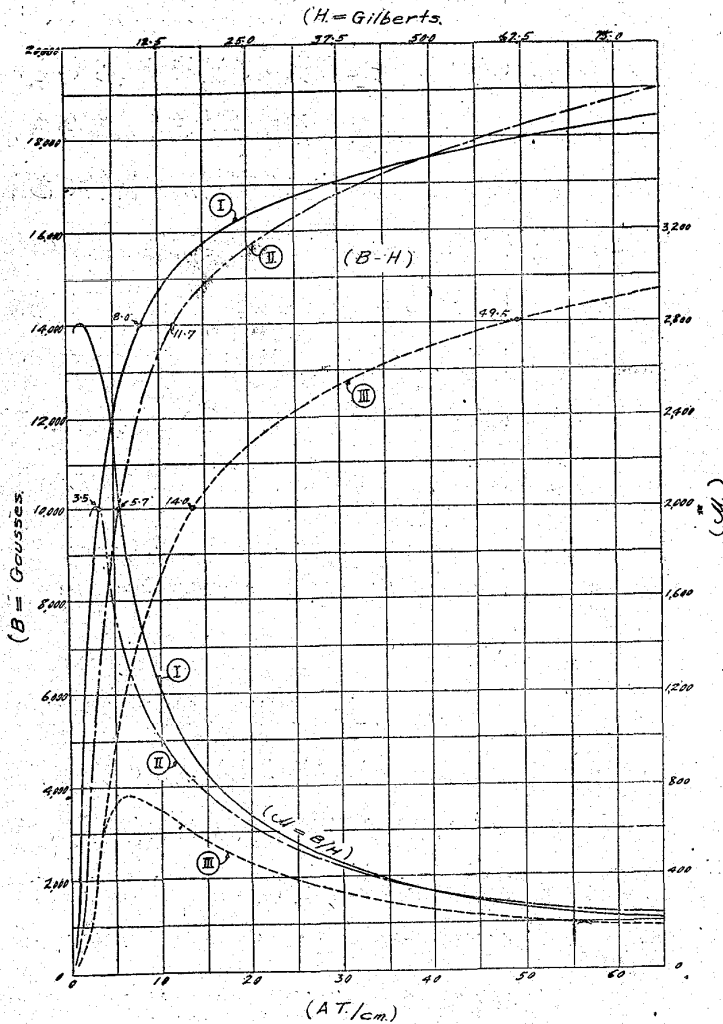
Table 10.

No.	Chemical analysis			Mechanical properties				Magnetizing force (A.T./cm)						Permeability (K.G./cm ²)					
	C. (%)	Mn. (%)	Si. (%)	T. kgs/mm ²	St. kgs/mm ²	Y. Pt. kgs/mm ²	Elong. (%)	B=10kg			B=14kg			B=10kg			B=14kg		
								(I)	(II)	(III)	(I)	(II)	(III)	(I)	(II)	(III)	(I)	(II)	(III)
1	0.166	0.037	0.097	35.60	15.95	28.1	3.5	5.7	14.0	8.0	11.7	49.5	2280	1396	568	1395	954	226	
2	0.189	0.150	0.113	36.75	14.75	29.0	3.4	5.7	14.0	8.1	12.3	50.0	2243	1396	568	1377	906	223	
3	0.166	0.120	0.144	35.40	14.75	23.3	3.6	5.9	13.6	8.3	12.5	48.7	2212	1225	586	1344	803	229	
4	0.195	0.192	0.201	37.45	15.30	28.0	3.9	6.6	15.3	8.7	13.2	53.0	2040	1206	521	1280	846	211	
5	0.185	0.229	0.308	38.60	15.82	25.0	3.7	6.5	20.2	8.7	13.9	85.0	2156	1225	394	1282	803	—	
6	0.200	0.219	0.304	36.60	13.00	24.3	3.6	6.2	13.5	8.9	12.9	53.0	2212	1283	590	1253	835	211	
7	0.195	0.139	0.195	37.10	14.75	26.3	3.7	6.0	13.8	9.1	12.9	48.0	2155	1326	578	1226	856	233	
8	0.203	0.171	0.214	36.40	14.15	25.3	3.7	7.2	13.5	9.3	14.4	51.0	2097	1106	590	1200	774	219	
9	0.206	0.301	0.341	38.20	14.75	23.6	3.7	6.9	17.0	9.5	14.0	57.0	2155	1154	469	1175	846	196	
10	0.235	0.260	0.519	43.40	19.55	27.3	4.1	7.8	27.3	9.9	16.5	90.0	1940	1020	232	1150	707	—	

* Diameter=10mm.

Guage length=10mm.

第 19 圖



Effects of annealing and quenching on the magnetic permeability of cast steel.
 (I).....Annealing (II).....Quenched in oil.
 (III).....Quenched in water.

これら曲線によれば普通焼鈍を施した (I) と油中健淬を施した (II) の磁化傾向は第 15 圖の (3) と (5) に比して遙に勝つてをる、これは前者の含有元素量が後者よりも少量であることが主因となつてをる。そして兩者共に油中健淬鋼の導磁率は磁場が或る値以上に於て普通焼鈍鋼よりも優れてをる、即ち第 14 圖では $B=16,300$ ガウス cm^2 ($H=40$ ギルバート cm) 附近より (5) が優秀となり、第 19 圖では $B=17,500$ ガウス cm^2 ($H=40$ ギルバート cm) 附近より (II) が勝つてをる。

上の事實から考へると、油中健淬の効果は組織標準化の効果と同様に、鐵の含有不純物の少量であるほど普通焼鈍鋼に比して導磁性の良くなる點が益々左方即ち弱い磁場に移ることが分る。これは第 1 節に述べた理由による

のであるから、製品の構造が餘り複雑しないものに此健淬法を施すときは、工業上必要とする磁場に於て良い導磁性が得らる。そして急冷による硬化、抗張力の増加、延伸率の不足等の缺點は鋼に含ましむべき通有元素量を低下することによつて或程度まで補ひ得る。斯く不純物量を減ずることは自然導磁性を益々良くすることとなる、故に製品の形態が許す場合に此熱処理法を施すときは確に良好な結果を與へ得る。

次に水中健淬の効果は第 1 節に述べた理由により當然不適當な結果に終はるべく、工業的に何等價値ある點を認め得ない。

第 VI 章 冶金學的考察

普通炭素鋼の最大導磁率の優秀を主とする場合には鋼の機械的強度を或る程度まで犠牲にして通有

元素を可及的に低減すること、又一定の機械的強度を要し然も或る値の磁束密度に對する起磁力をして最も少く常に齊一ならしむる場合には、それに相當する炭素、滿俺、珪素等を合金した方が實際に良い結果となる。

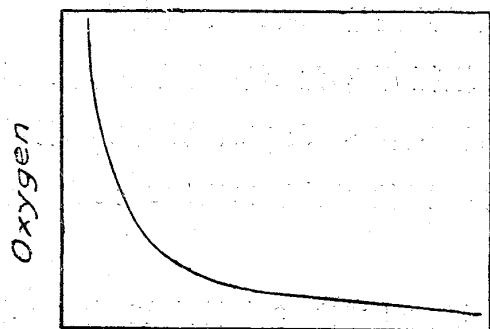
然し上の如く鋼を適宜調整するには實際上相當の技術を要する、即ち既知の冶金術は酸化作用の應用にあるから熔鋼は常に多少の酸化物が混在してをる。随つてこれら酸化物除去の必要上適量の滿俺珪素、輕銀其他の所謂脱酸劑を加へる、然るにこれら脱酸劑の或るものは鐵と固溶體となりて鐵中に残り又其酸化によつて生じたる酸化物は相互に固溶體若しくは化合物となつて機械的に鐵中に混在する。斯る介在物をして完全に熔鋼から離脱せしむるには、其比重の關係上體積に準じて浮揚する速度に相異あるを以つて、可及的に熔鋼の流動性を増し酸化物が互に凝集するに充分の時間を與へるを要す。

Mc. Cance⁽⁶⁾ は熔鋼中に混在する粒狀酸化物の直徑が $1/1000\text{cm}$ 以下のものは浮離困難にして 2.0×10^{-3} 以上 $3.0 \times 10^{-3}\text{cm}$ 以下のものは其 46%、位が浮離するに過ぎずと云つてをる。故に完全に脱去せしむるには特異の脱酸劑を用ゆるか或は長時間に涉り熔鋼を靜止狀態に保ち比重作用による自然浮離を待つ外途がない。

著者は米國キリノイス製鋼會社南市俄古工場にて容量 80,000 lbs の鹽基性エルー式電氣爐にてベセマー→タルボット→電氣爐の所謂3聯式製鋼法實修中、熔鋼精製後電流を絶ち2時間に涉り全く靜止狀態に保つた後ち再び送電昇熱して鑄造した鋼塊につき、瓦斯並に酸化物の混在量を檢定せるに正規の操作によつて造つた鋼と何等相異のないことを認めた。此事實によるも熔鋼中の混在物を完全に浮離せしむるには、熔鋼溫度を一定に保ち熔鋼の流動性を變へることなく長時間靜止の狀態に置く必要のあることが分る。

鋼中に混在する酸化物を常に最少限度に保つには、先づ酸化鐵の量を可及的に少量ならしむを得策とする、即ち普通に用ひられてをる脱酸劑は何れも酸化第一鐵 (FeO) と反應して種々の酸化物となるからである。又硫黄は原料撰定と精製とを合理的に行へば極めて少量とすることが困難でないから自然硫化滿俺其他の介在物も減じ得る。

第 20 圖



Respective amount of oxygen with carbon content in steel. (After Herty)

Herty⁽⁷⁾ の研究によれば酸素と炭素の關係は第 20 圖の如き曲線となるが、これら元素の平衡恒數が未知であるために座標値を記入し得ないと云つてをる、そして氏は次の如き記録を公開してをる。

鋼中 C (%)	脱酸用 Si 加 入量 (%)	鋼中 Si (%)	O (%)	FeO (%)	SiO ₂ (%)
0.046	0	0.004	0.075	100	0
0.048	0.027	0.005	0.052	90	10
0.069	0.132	0.050	0.021	35	65
0.048	0.330	0.212	0.010	5	95

上の記録は容量 200~300 lbs の鹽基性電氣爐に普通鋼板屑と少量の骸炭を混じて熔解し、これに鐵鑛石を加へて脱炭した後ち表示の如き割合に珪素を加へて脱酸を行つた結果である。更に氏は珪素による脱酸作用は $\text{Si} + 2\text{FeO} \rightleftharpoons \text{SiO}_2 + 2\text{Fe}$ の反應によるものにして、斯く生じた SiO_2 は更に熔鋼中から FeO を誘出して珪酸鐵となるから、完全脱酸は不可能とするも特異の事情（例へば操業技術の誤差）なき限り、工業上此元素の影響として認め得ない程度まで脱酸し得ると云つてを。そして SiO_2 が FeO 或は MnO と化合して珪酸物を造ると比較的容易に熔鋼から浮離する特性を生ずる、此意味に於て滿俺は脱酸、脱硫以外に介在物の離脱作用を早める重要な働きを有することが分る、故に滿俺は鐵の導磁性を害するけれども適量範圍に合金することは寧ろ有益な元素ではないかと考へらる。

Yensen 及び Gatward⁽⁸⁾ の實驗によれば、輕銀は 4.0%、までは其増加と共に鐵の最大導磁率を高めるが此量以上に達すと再び低下せしむることが分る。此事實は珪素と似てをるが酸素が如何に有害とするもこれを脱去する目的で加へらるべき脱酸劑にも自から加入量範圍のあることが分る。又鐵の導磁性に及ぼす元素の影響が如何に鋭敏であるとするも、正規の操業によれば前述の如く殆んど分析の誤差範圍まで低下せしめ得る酸素のために著しく導磁性を害すべしとは考へ得ぬ。これは異なる製鋼法によつて造つた試料について種々比較した結果から推思することが出来る。

最近低炭素鋼の含有する酸素量は凡そ 0.06%、位と知られてをる、故に此酸素を輕銀によりて脱去せしむるには凡そ 0.07%、を要し、珪素により脱酸せしむるには 0.20%、位で酸素は 0.004%、に低下することも知られてをる、そして珪素と輕銀を適宜に用ひるならば熔鋼中の酸素或は酸化物と反應して其絶滅に達するまでは、鐵中に溶解し難い性質を有するから工業用脱酸劑として最も適したものである。要はこれら元素を如何にして有効に作用せしめ得るかの點に歸着するが、これは當事者の製鋼技術の熟練に因る適宜判斷に任す外方法がない。そして滿俺は脱硫と熔滓調整を目的として適宜配合するならば炭素が 0.10%、以下に於て 0.15~0.20%、の滿俺を保つに何等困難のないことは著者の日常行つてをる事實によるも明かである。

更に製鋼原料の性質に適應した精製作業を合理的に、例へば熔鋼と熔滓間に起る平衡状態を確實に調整して、酸化鐵の量を常に最少限度に保ち得るならば、珪素、輕銀等の加入量も自然最少量で足り、斯く少量の脱酸劑のために生じた酸化物が浮離するに充分の時間を與へるならば、鋼は自から材質と導磁性の勝れたものが得らる。此意味に於て鹽基性弧光式電氣爐は他の製鋼法に比して最も合理的のものであることが分る。

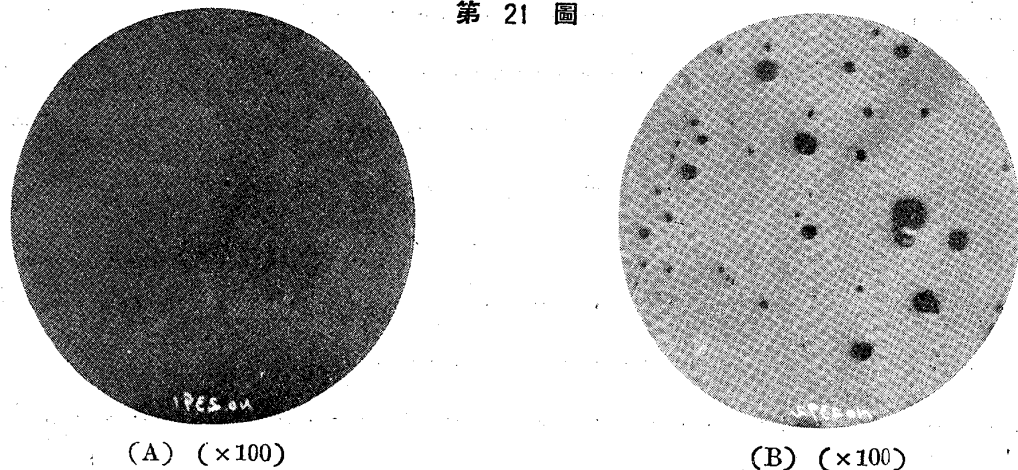
第1節 非金屬介在物の影響 此非金屬介在物の根本的成因としては、製鋼材料及び爐内大氣より移入する酸化物、酸素、硫黃等が主であるが、これら素因の外に一種の副成因としては、熔鋼と絶へず接觸する熔滓並に爐内耐火物、熔鋼用取鍋の裏地及び鑄型の熔損して混入する等である。そしてこれら介在物が熔鋼中にあるとき果して固體であるか或は全く液體であるか未だ一致した見解がな

い、最近 Wohrman⁽⁹⁾の實驗によれば熔鋼が固結する以前既に大部分は固體であるが、鋼の固結と同時に晶出するものも少くない、そして鐵が固結後に現はれる介在物は鐵の機械的性質には餘り影響しないことが分る。しかしこれら介在物が鐵の導磁性に及ぼす悪影響が遙に大であることは、前に述べた磁性の敏感度から推思するに難くない。

輕銀、酸素、滿俺の如き常磁性元素の化合物たる酸化滿俺或はアルミナは全く反磁性體であるから酸化鐵、硫化鐵、硫化滿俺、珪酸、珪化滿俺、磷化物其他通有混在物と考へらるべき化合物或はこれらの固溶體乃至共晶物中には常磁性と反磁性とあるべきも、何れも鐵の導磁性を害すことは前述の如きであるから常にこれらの成因を究め以つて其都度適宜に冶金術を應用するを要す。

例へば第 21 圖寫眞の如く介在物の著しく多い (B) と割合に少い (A) に同一磁束密度を與へるには (B) は (A) よりも遙に多くの起磁力を要す。即ち物質中 2 點間に通ずる磁線數と A.T. 總數とは正比例するから、實際問題としては上の如く考へ得る。

第 21 圖



(A) (×100)

(B) (×100)

Showing difference in amount of non-metallic inclusion.

以上實驗の結果から理論的に考察するに、普通低炭素鋼の導磁性の問題は通有元素量、これら元素の化合物並に酸化物等を冶金的に適宜調整することによつて、充分に優秀齊一ならしめ得るのみならず、熱處理効果の利用によりても或る程度まで任意であることが分る。

著者は實驗中に酸性轉爐鋼、鹽基性、酸性兩平爐鋼並に壓延鋼板等の導磁性を比較研究せる結果から考へるも、特に酸素 (或は酸化物) の影響と認め得る事實がない。これを要するに正規の製鋼方法に熟練し常に最小限度に脱酸し得る場合は、此元素の影響は他の元素のために遮蔽さるゝ程度に過ぎぬものと考へらる。

總 括

- (1) 普通炭素鋼の通有元素量、機械的強度並に熱處理効果等の相異と導磁性に關する工業的實驗を 700 餘熔解の鋼について行つた、其概括的要點は次ぎの如きである。
- (2) 導磁性に及ぼす通有元素の影響は炭素最大にして滿俺これに亞ぎ、珪素、磷及び硫黃等の影

- 響は炭素と滿俺のために遮蔽さるゝ程度に過ぎぬ。炭素量を低減するほど導磁性は良くなるが其安定を缺ぐために齊一を期するに困難となる。
- (3) 炭素と滿俺が鐵の導磁性を害する割合は或る量を境界として其敏感度に變化を現はす、即ち炭素は 0.20%、附近に相當しこれ以下に於ては少量となるほど敏感度を益々増すが此量以上に於ては少量の炭素増減によつて著しき影響を認め得ない。
- 滿俺の單獨の影響は餘り大でないが炭素と相助的作用を起すに足る量(炭素=0.20%位に於て凡そ滿俺=0.50%)以上に達するときはかなり大きな害を認め得る。珪素は 0.20~0.30%、を含むときは脱酸も殆んど完成され、此元素の單獨的影響としては善惡何れとも判定し難い程度に過ぎぬ。
- 磷と硫黃が鋼の導磁性に及ぼす影響は大でない、故に寧ろ機械的性質に及ぼす悪影響を避くる目的の下に常に最少量(0.03%以下)に保てば、工業的にはこれら元素の影響は全く無視し得る程度に過ぎぬことを知つた。
- (4) 鋼の機械的所要強度を保つに必要な炭素のために生ずべきパーライト粒は可及的に層狀を避け、パーライトセメントイトに因る磁氣抵抗を減少せしむるを要す。そして比較的弱い磁場に於て導磁性の優秀を期すには通有元素量を可及的に減じ中にも炭素量を特に下げ機械的強度を或る程度まで犠牲にした方が良く、又中位の磁場に於ける導磁性(最大磁束値)の高いものを要する場合には炭素量を前記の範囲内に保ちパーライトは球狀或はソルバイト性とした方が良く。
- (5) 異なる熔解若しくは一時に多數を鑄造した場合に製品各個の導磁性を齊一ならしむるには炭素を 0.20% 以上に保つた方が極度に減じたものよりも遙に確實である。
- (6) 鐵に機械的所要強度を與へるに足る最少限度の炭素を合金した場合の強度を中心とした導磁性は、一般的に抗張力小にして延伸率大であるほど弱い磁場に於て勝れた導磁率を現はすが、中位の磁場に於ては如斯決定的のものでない。又鋼の組織的變化が導磁性に及ぼす影響は磁場の強弱によりて機械的強度と反對の傾向を認める。
- (7) 炭素及び滿俺が鐵の導磁性に及ぼす感度は機械的強度に對するよりも遙に大である、故に優秀齊一な導磁性を與へるには機械的強度を可及的に狭い範囲に保つが良くことになる。
- (8) 焼鈍の効果は餘り大でない、これは組織並に内部歪力の變化、非金屬介在物の酸化度の相異等によりて、互に相殺的影響を與へるために磁化作用が著しく敏感であることと相俟つて實際上判然と現はれないものと考へる。
- (9) 低炭素鋼に施した熱處理効果としては、油中健淬の影響が中位或は以上の磁場に於て良い導磁性を現はす。これはソルバイト性パーライトの磁氣抵抗の影響にして、組織的に齊一であることと相俟つて生ずる結果と考へる。故に炭素其他の元素を極度に少量として此熱處理法を施せば、組織標準化の影響と同様に中位の磁場に於ては良い結果を得らる。
- (10) 酸素(酸化物を含む)の影響が著しく有害と認むる説あるも、特異の事情なき限り其存在

状態の如何に關せず實際上には鋼の導磁性を左右するほど強大とは認め得ぬ程度に過ぎぬものと考へらる。

終はりに臨み本文内容につき誠に御懇切なる校正を賜はりたる京都帝國大學教授齋藤大吉先生に謹んで感謝の意を表す、又本實驗結果の公開を許可されたる株式會社日立製作所並に馬場博士に深謝す。

文 献

- | | | |
|---------|----------------------|---|
| (1)... | Yensen. | American Institute of Electrical Engineers. June, 1927. |
| (2)... | Parshall and Hobart. | Standard Handbook for Electrical Engineers. |
| (3)... | Yensen. | American Institute of Mining Engineers. Feb.1916. |
| (4)... | Yensen. | American Institute of Electrical Engineers. June. 1924. |
| (5)... | Hadfield. | Metallurgy and Its Influence on Modern Progress. |
| (6)... | Nevile and Cain. | Scientific Papers of the Bureau of Standards. No. 453. Oct. 1922. |
| (7)... | Mc Cance. | Iron and Steel Institute. Vol. 1. 1918. |
| (8)... | Herty | American Society for Steel Treating. April. 1929. |
| (9)... | Yensen and Gatward. | University Illinois Bullten. 1917. |
| (10)... | Wohrman. | American Society for Steel Treating. July-Oct., 1928 |

熔融金屬と熔融鹽との間の化學反應

飯 高 一 郎

内 容

- | | |
|-----------------------|----------------------|
| 1. 新質量作用の法則 | の化學反應 |
| 2. 電氣化學的理論 | 4. 製鐵製鋼爐内の化學反應及び地球内部 |
| 3. アルミニウム及び其合金と熔融鹽化物間 | |

1. 新質量作用の法則

熔融金屬と熔融鹽間の化學平衡に關しては、通常の質量作用の法則を適用する事は出来ない。何となれば、此法則は元來理想氣體に關する $PV=nRT$ なる關係を前提として導かれたもので、表題の如き場合にはこの關係は成立しないからである。かかる場合を論ずるには、是非共凝縮系 (Condensed System) に關し Van der Waals の式 $(P + \frac{A}{V^2})(V-B) = \Sigma(n) \cdot RT$ を用ひて Richard Lorenz の導きたる新質量作用の法則に依らねばならぬ。熔融鉛に熔融鹽化カドミウムを加へて化學平衡を得たる場合、乃ち $Pb + CdCl_2 \rightleftharpoons Cd + PbCl_2$ なる化學平衡に於て、金屬相は Pb と Cd との合金である。その組成をモールにて表はし、Pb を x , Cd を $1-x$ とする。又鹽相に就ても $PbCl_2$ を y , $CdCl_2$ を $1-y$ とする。普通の質量作用の法則は一定の溫度にて $\frac{x}{1-x} \cdot \frac{1-y}{y} = \text{恒數} \dots \dots (1)$ なる關係を要求するが、實驗の結果は全然恒數を與へない。